

Resumen

La realización del proyecto dispone de dos líneas básicas: la primera parte consiste en estudiar las características y componentes principales de las bicicletas de montaña ya existentes en el mercado, la segunda parte consiste en dimensionar, diseñar y modelar una bicicleta de montaña equipada con la doble suspensión y un cuadro con una geometría simplificada.

Primero se realiza una breve descripción de la historia de las bicicletas de montaña, conocer sobre todo el origen de la bicicleta de montaña que hoy en día ocupa casi la mitad del mercado de las bicicletas.

A continuación se estudian las diferentes categorías de las bicicletas de montaña analizando una por una sus usos y características. Después de estudiar la clasificación de las bicicletas, se hace un breve estudio de los componentes que forman parte de una bicicleta, sobre todo analizar los típicos sistemas de suspensión trasera que utilizan hoy en día los fabricantes de bicicleta.

Previo al modelado de la bicicleta, se realiza un dimensionamiento de la bicicleta basándose de una bicicleta todo terreno ya existente en el mercado, seguidamente se modela la bicicleta a través del programa Solid Works versión 2015 y se analiza su rigidez mediante el programa de elementos finitos Ansys versión 16.1

Después se hace un estudio cinemático para conocer el comportamiento de la bicicleta desarrollada en este proyecto fin de carrera.

Después del estudio cinemático, se realiza un estudio de la industrialización de la bicicleta, analizando los diferentes aspectos que se deben considerar para la industrialización de la bicicleta en cuestión. Basándose de unas hipótesis preliminares, en este mismo apartado también se hace un estudio del presupuesto de fabricación de la bicicleta prototipo y un estudio de la viabilidad económica del proyecto de industrialización.

Finalmente se analizan los impactos ambientales en las diferentes fases del proyecto.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS	6
1. GLOSARIO	10
2. MOTIVACIÓN	11
2.1. Motivación de origen	11
3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO	12
3.1. Objetivos del proyecto.....	12
3.2. Alcance del proyecto.....	13
4. INTRODUCCIÓN A LA BICICLETA DE MONTAÑA	14
4.1. Breve historia de la bicicleta de montaña	14
4.2. Características generales de una bicicleta de montaña.....	16
4.3. Clasificación de las bicicletas de montaña	17
4.3.1. Cross country.....	18
4.3.2. Enduro- All Mountain	19
4.3.3. Descenso.....	19
4.3.4. Conducción libre	20
4.3.5. Mountain Bike (MTB ó BTT). All terrain.	21
4.4. Descripción de los elementos de la bicicleta de montaña.....	21
4.4.1. Suspensión trasera.....	22
4.4.2. Horquilla de suspensión.....	23
4.4.3. Drivetrain.....	25
4.4.4. Cuadro	26
4.5. Geometría de una bicicleta de montaña.....	26
5. SISTEMAS DE SUSPENSIÓN TRASERA DE UNA BICICLETA DE MONTAÑA	28
5.1. Sistema de suspensión trasera mono pivote.....	28
5.2. Sistema de suspensión trasera mono pivote articulado	29
5.3. Sistema de suspensión de 4 barras	29
5.3.1. Sistema de suspensión tipo Horst Link.....	30
5.3.2. Sistema de suspensión tipo punto de pivote virtual	31

5.3.3.	Sistema de suspensión tipo amortiguador flotante	31
5.3.4.	Sistema de suspensión tipo active braking pivot o Split pivot.....	32
5.3.5.	Sistema de suspensión tipo Kona	33
5.4.	Sistema de suspensión de 6 barras	34
6.	DIMENSIONAMIENTO Y MODELADO DE LA BICICLETA. _____	35
6.1.	Software utilizado para el dimensionamiento y modelado	35
6.2.	Consideraciones para el dimensionamiento y modelado de la bicicleta	35
6.2.1.	Geometría de la bicicleta	36
6.2.2.	Elementos comerciales.....	37
6.2.3.	Estudio de materiales	38
6.2.4.	Estudio del sistema de suspensión	40
6.3.	Modelado de la bicicleta	42
6.3.1.	Modelado de piezas nuevas	43
6.3.2.	Ensamblaje del conjunto.....	45
6.3.3.	Criterios aplicados para el diseño	47
7.	ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS _____	49
7.1.	Software utilizado para el análisis de elementos finitos	49
7.2.	Consideraciones iniciales	49
7.3.	Resultados del análisis de elementos finitos.....	52
7.3.1.	Distribución de deformaciones de las piezas.....	53
7.3.2.	Distribución de tensión von Mises de las piezas.....	53
7.3.3.	Factor de seguridad de las piezas	54
7.4.	Optmizacion de las piezas estructurales	55
7.4.1.	Optimización del diseño.....	55
7.4.2.	Cambio de material.....	58
7.4.3.	Resultado final de la optimización	60
8.	ESTUDIO CINEMÁTICO DE LA BICICLETA DESARROLLADA ____	61
8.1.	Breve introducción de los conceptos técnicos	62
8.2.	Analisis de los resultados de la simulacion	63
8.2.1.	Relacion entre el recorrido del amortiguador y el recorrido de la rueda trasera.....	63
8.2.2.	Relacion entre el recorrido del cuadro y el recorrido del amoritguador	64
8.2.3.	Efectividad del pedaleo.....	65
8.2.4.	Retroceso del pedaleo.....	67
9.	PROYECTO DE INDUSTRIALIZACIÓN _____	68
9.1.	Consideraciones iniciales para la industrialización	68
9.2.	Fabricación y ensayo de la bicicleta	69

9.3. Presupuesto de fabricación	70
9.3.1. Presuepuesto de ejecucion material.....	71
9.3.2. Presupuesto de ejecución por contrata	71
9.4. Estudio de viabilidad económica.....	72
9.4.1. Costes derivados de la industrialización	72
9.4.2. Ingresos derivados de la industrialización	74
9.4.3. Factibilidad económica	75
9.5. Planificación del proyecto	76
10. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	78
CONCLUSIONES	80
AGRADECIMIENTOS.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
PLANOS	86

Índice de figuras, tablas y gráficas

Índice de figuras

Fig. 4.1. La bicicleta Schwinn Excelsior _____	14
Fig. 4.2. Un grupo de ciclistas con sus Schwinn Excelsior equipada con llantas anchas y componentes de la motocicleta _____	15
Fig. 4.3. Primera bicicleta de montaña equipada con doble suspensión: Kestrel Nitro ____	16
Fig. 4.4. Características principales de una bicicleta de montaña _____	17
Fig. 4.5. Bicicleta de montaña Level R9 _____	18
Fig. 4.6. Bicicleta de descenso Trek Session 88 _____	20
Fig. 4.7. Partes de una bicicleta de montaña _____	22
Fig. 4.8. Funcionamiento del amortiguador pull shock _____	22
Fig. 4.9. Estructura interna de una horquilla de suspensión. _____	25
Fig. 4.10. Geometría básica de una bicicleta de montaña _____	26
Fig. 5.1. Ejemplo típico de una bicicleta con suspensión trasera monopivote: Santa Cruz superlight _____	28
Fig. 5.2. Ejemplo típico de una bicicleta con suspensión trasera monopivote articulado: Rocky Mountain Element _____	28
Fig. 5.3 Ejemplo de la suspensión trasera tipo Horst Link con sus dos puntos de pivote _____	30
Fig. 5.4 Bicicleta Santa Cruz Blur con la suspensión trasera tipo punto pivote virtual ____	31
Fig. 5.5 Bicicleta Trek Fuel EX con la suspensión trasera tipo amortiguador flotante ____	32
Fig. 5.6 Bicicleta Trek Slash 2016 con la suspensión trasera tipo active braking pivot ____	33
Fig. 5.7 Bicicleta Kona Operator 2016 con la suspensión trasera tipo Kona _____	32
Fig. 5.8 Ejemplo típico de una bicicleta con suspensión trasera 6-bar: Cube TWO15 2015 _____	34

Fig. 6.1 Croquis con la geometría básica de la bicicleta a desarrollar	35
Fig. 6.2 Sistema de suspensión trasera tipo Kona	41
Fig. 6.3 Sistema de suspensión simulado con el programa Linkage Mechanism Designer and Simulator.	42
Fig. 6.4 Modelo 3D del cuadro delantero	43
Fig. 6.5 Modelo 3D del basculante	44
Fig. 6.6 Modelo 3D del soporte pedalier	44
Fig. 6.7 Modelo 3D de la bieleta	45
Fig. 6.8 Conjunto ensamblado de la bicicleta diseñada.	46
Fig. 6.9 Conjunto de sistema de suspensión trasera.	46
Fig. 6.10 Soporte anclaje amortiguador montado en el cuadro delantero mediante tornillos y pins de fijación	47
Fig. 6.11 Sección del eje de giro basculante-cuadro delantero	48
Fig. 7.1. Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 7075-O	50
Fig. 7.2 Zonas de la bicicleta donde reciben uniformemente la carga	51
Fig. 7.3 Conjunto de bicicleta mallado	51
Fig. 7.4 Modelo 3d de la bicicleta con todas las consideraciones iniciales	52
Fig. 7.5 Resultados de deformaciones de las 4 piezas diseñadas	53
Fig. 7.6 Resultados de tensión Von Mises de las 4 piezas diseñadas	53
Fig. 7.7 Factor de seguridad de las 4 piezas diseñadas	55
Fig. 7.8 Conjunto de bicicleta con las piezas aligeradas	56
Fig. 7.9 Resultados de deformaciones de las 4 piezas modificadas	56
Fig. 7.10 Distribución de tensión Von Mises de las 4 piezas modificadas	57
Fig. 7.11 Factor de seguridad de las 4 piezas modificadas	57

Fig. 7.12 Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 5052-O	58
Fig. 7.13 Resultado de deformaciones del conjunto con la geometría modificada y el material 5052-O	58
Fig.7.14 Distribución de tensión Von Mises de las piezas modificadas con material 5052-O	59
Fig. 7.15 Factor de seguridad de las piezas modificadas con material 5052-O	59
Fig. 8.1 Croquis 2D de la bicicleta modelado con el Linkage X3	62
Fig. 8.2 Cálculo del anti squat	66
Fig. 8.3 Cálculo del anti squat con la nueva configuración de transmisión	67

Índice de Graficas

Grafica 8.1 Relación recorrido amortiguador Vs. Recorrido rueda trasera	64
Grafica 8.2 Relación recorrido cuadro Vs. Recorrido amortiguador	64
Grafica 8.3 Gráfica de anti squat vs recorrido rueda trasera	65
Grafica 8.4 Gráfica del parámetro Pedal-Kickback	67

Índice de tablas

Tabla 6.1 Geometría básica de la bicicleta de montaña GIANT REIGN 2 27.5"	36
Tabla.6.2 Elementos comerciales que se van a utilizar para el diseño	37
Tabla.6.3 Propiedades mecánicas de la aleación 7075-O	39
Tabla.6.4 Propiedades mecánicas de la aleación 5052-O	40
Tabla. 9.1 Coste de las diferentes partes de la bicicleta	70
Tabla. 9.2 Coste de la mano de obra	70
Tabla. 9.3 Presupuesto de ejecución material de la bicicleta	71
Tabla. 9.4 Presupuesto de ejecución por contrata de la bicicleta	71
Tabla. 9.5 Coste de ingeniería para desarrollar una bicicleta	72

Tabla. 9.6 Coste de creación de una empresa	73
Tabla. 9.7 Costes fijos de la empresa.	73
Tabla. 9.8 Coste fijo de la empresa durante 5 años.	74
Tabla. 9.9 Coste variable de la empresa durante 5 años.	74
Tabla. 9.10 Estimación de ventas de la bicicleta.	75
Tabla. 9.11 Flujo de caja de los 5 años	75
Tabla. 9.12 Planificación del proyecto	76

1. Glosario

4-Bar: Es el sistema de suspensión más habitual, formado por: Triangulo delantero, vainas, tirantes y bieleta.

6-Bar: Es una variante del sistema 4-bar en la que se añaden un par más de bieletas para controlar el comportamiento del freno trasero.

Pedal-Kickbak: Es el retroceso en los pedales provocado por la extensión de la las vainas.

Anti-squat: Es un parámetro que indica la efectividad de pedaleo de un sistema de suspensión trasera.

PEM: Es el presupuesto de ejecución material de un producto, es el resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas.

PEC: Es el presupuesto de ejecución por contrata, el resultado se obtiene sumando el presupuesto de ejecución material junto con los gastos generales, el beneficio industrial del contratista y el IVA.

Faux bar: es un sistema de suspensión llamado generalmente como falso cuatro, es una variante del sistema de 4- bar, pero sin el uso de un Horst Link.

Horst Link: Es un punto de giro cercano al eje de la rueda que se utiliza para mejorar el funcionamiento de un sistema 4-Bar.

VAN: Valor Actualizado Neto, es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión.

TIR: Tasa interna de retorno, es la tasa que iguala el valor presente neto a cero.

IPC: Índice de precios de consumo, es una medida estadística de la evolución de los precios de los bienes y servicios que consume la población residente en viviendas familiares en España.

2. Motivación

2.1. Motivación de origen

Este proyecto fin de carrera nace de la idea que tuvo el profesor Carlos Sierra del departamento de proyectos de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona para crear una bicicleta de montaña diferente a los ya existentes en el mercado. Teniendo en cuenta el alcance de este proyecto, se puede considerarlo como un proyecto que reúne varios puntos de interés enmarcados dentro del ámbito de la ingeniería industrial.

La principal motivación para realizar un proyecto de estas características es sobre todo por el gran interés personal en desarrollar una cosa diferente aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria y experiencias profesionales obtenidas en el mundo laboral.

Otro factor importante que me condujo a este proyecto es la gran popularidad de esta modalidad de bicicletas, siendo varias las razones que lo hacen tan popular, principalmente porque es un deporte de aventura además de ser un transporte rápido y respetuoso del medio ambiente.

Por otro lado, el hecho de diseñar una bicicleta de montaña también da la posibilidad de poderlo fabricar y probarlo cuando los medios económicos sean posibles.

3. Objetivos y alcance del proyecto

3.1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es estudiar las bicicletas ya existentes en el mercado, así como desarrollar un nuevo concepto de bicicleta de montaña de doble suspensión simplificando al máximo la geometría del cuadro y basculante.

A nivel de este proyecto los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

- Profundizar los conocimientos de las bicicletas de montaña, conocer diferentes tipos de bicicletas de montaña y sus correspondientes características.
- Diseñar un nuevo sistema de suspensión trasera enfocado para bicicletas todo terreno.
- Diseñar y modelar en sistema CAD la bicicleta desarrollada en este proyecto
- Analizar y optimizar el diseño mediante análisis de elementos finitos para verificar la coherencia del material y dimensionamiento escogido.
- Analizar el comportamiento cinemático de la bicicleta diseñada.
- Estudiar los aspectos más importantes para la industrialización
- Estudiar el impacto ambiental debido a la fabricación.

3.2. Alcance del proyecto

Dentro del alcance del proyecto se incluyen: el estudio de los diseños ya existentes de las bicicletas de montaña, la selección del material para la fabricación de los elementos no comerciales, el diseño 3D de la bicicleta incluyendo todas las piezas que se ensamblan en una bicicleta, un análisis de elementos finitos de la estructura y propuestas para su optimización, el estudio cinemático de la bicicleta diseñada para ver si el comportamiento alcanza unos requerimientos mínimos de maniobrabilidad, y finalmente un estudio de impacto ambiental debido a la realización del proyecto.

Queda fuera del alcance del proyecto: un estudio de optimización del comportamiento cinemático que requiere parametrizar los parámetros geométricos y el comportamiento cinemático, un estudio de técnicas de fabricación de los elementos diseñados para minimizar el coste de fabricación y el impacto ambiental debido a la fabricación, y finalmente un plan de industrialización detallada de esta nueva bicicleta.

4. Introducción a la bicicleta de montaña

4.1. Breve historia de la bicicleta de montaña

Sobre el año 1930 en U.S.A, que entonces estaba a punto de entrar en guerra, se inventó la llanta ancha para las bicicletas (26 X 2.125 pulgadas) y esto trajo consigo muchas posibilidades de utilizar la bicicleta todo terreno. En el año 1933 Ignaz Schwinn construyó, en Estados Unidos, una bicicleta de gran robustez, la Schwinn Excelsior, que muy pronto se hizo popular entre los repartidores de periódicos a domicilio. Pero no fue hasta principios de la década de los 70 cuando inició la moda de utilizar la bicicleta en caminos de tierra. (1)



Fig. 4.1. La bicicleta Schwinn Excelsior (Fuente: (2))

En el principio de la década de los 70, un grupo de ciclistas formados por Charlie Kelly, Gary Fisher y Tom Ritchey empezaron a practicar ciclismo fuera de las carreteras con el fin de evitar el control de las policías. Para poder conseguir más control sobre la bicicleta en terrenos no asfaltados de las montañas, ellos empezaron a colocar llantas anchas, engranajes y componentes de la motocicleta en una bicicleta Schwinn Excelsior. Como resultado de este nuevo invento, salió la primera bicicleta preparada para los terrenos de la montaña.

Llegando el año 1977 Joe Breeze preparó su cuadro de Cromoly utilizando los mismos principios de la geometría de la bicicleta Schwinn Excelsior. Él mismo diseñó y construyó su

primer prototipo Breezer #1. El uso de este prototipo para las competiciones impresionó a todos, y ganó sin ninguna duda la carrera. De ahí que estas nuevas bicicletas se les llamó Mountain Bike o Bicicleta de Montaña.



Fig. 4.2. Un grupo de ciclistas con sus Schwinn Excelsior equipada con llantas anchas y componentes de la motocicleta (Fuente: (3))

Después de la creación de esta nueva bicicleta, los diseñadores empezaron a introducir más innovaciones a la vieja bicicleta de montaña. La primera bicicleta de montaña equipada con suspensión delantera fue diseñada y comercializada en 1987 por la compañía Trek. Posteriormente en el año 1990 se salió al mercado la primera bicicleta de doble suspensión: Kestrel Nitro.



Fig. 4.3. Primera bicicleta de montaña equipada con doble suspensión: Kestrel Nitro (Fuente : (4))

A principios de los 90, el mercado de la bicicleta de montaña tuvo un “boom” espectacular. Empezaron a salir muchas empresas nuevas que se dedican a diseñar y fabricar bicicletas de montaña con nuevas tecnologías y nuevos materiales.

En pocos años, el material utilizado para construir el cuadro de la bicicleta cambió muchísimo. Los fabricantes empezaron con aceros, después han utilizado aleación de aluminio, aleación de titanio y finalmente materiales compuestos como fibra de carbono, fibra de vidrio. Como resultado de estas innovaciones, los cuadros son cada vez más ligeros, pero la rigidez cada vez es mayor.

Otro aspecto que ha evolucionado muchísimo es el sistema de suspensión trasera, los fabricantes empezaron a diseñar nuevos sistemas de suspensión trasera y delantera con el fin de conseguir un mejor comportamiento de la suspensión, y sobre todo un máximo aprovechamiento de los pedaleos de la ciclista.

4.2. Características generales de una bicicleta de montaña

La bicicleta de montaña (Mountain Bike o MTB) es una bicicleta diseñada especialmente para ir por los terrenos montañosos, por eso también se la denomina como bicicleta todo terreno (All Terrain bike o ATB). Las características principales de una bicicleta de montaña son:

- Utiliza cuadro rígido para soportar los grandes esfuerzos provocados por los diferentes tipos de terreno y obstáculos.
- Las ruedas son más anchas, de esta forma podrían conseguir más agarre y mejor absorción de vibraciones, normalmente se suelen utilizar ruedas entre 1.75 y 2.3 pulgadas.
- Manubrio recto para que sea más sencillo y ligero, la ventaja del manubrio recto es porque este tipo de manubrio ofrece un excelente control y maniobrabilidad para que el ciclista pueda esquivar fácilmente los socavones, ramas, raíces, etc.
- Equipada con la suspensión delantera para absorber vibraciones e impactos, en gamas altas también vienen equipadas con la suspensión trasera con el fin de conseguir un mayor confort del ciclista.
- El eje de pedalería suele tener una altura mayor que las bicicletas convencionales, de esta manera la bicicleta tiene menos riesgo de arrastrar las tripas del cuadro por el

trazado en caso de terreno irregular, aunque también tiene su inconveniente de que el centro de gravedad se queda más alto, y por consiguiente la bicicleta será más incómoda.

- El cambio de marcha suele tener varias velocidades para dar una mayor amplitud del uso de las transmisiones. De esta manera, durante la práctica de este deporte, el ciclista puede ir cambiando a diferentes velocidades con la finalidad de satisfacer las necesidades de los diferentes terrenos y tiempos.



Fig.4.4.Características principales de una bicicleta de montaña (Fuente : Propia y (5))

4.3. Clasificación de las bicicletas de montaña

Aunque la bicicleta de montaña fue creada para ir por todos los terrenos, pero como la escena de su utilización es cada vez más amplia y específica, los fabricantes empezaron a diseñar y construir bicicletas especializadas para diferentes usos. Actualmente en el mercado dependiendo del tipo de terreno y en función de las necesidades del ciclista, se puede dividir en 2 categorías (6):

- -Bicicletas de montaña para el ámbito deportivo: Cross country, enduro, Freeride y descenso.
- Bicicletas para el ocio y la diversión: all terrain.

4.3.1. Cross country

En realidad son muy similares a las bicicletas de montaña, pero están especializadas para competiciones, tienen por objetivo de ir lo más rápido posible en estos terrenos. Por este motivo los componentes o el cuadro que se eligen están pensado para que estas bicicletas puedan alcanzar velocidades elevadas aunque el trazado no sea óptimo para bicicletas convencionales.

Las características principales de estas bicicletas son:

- Peso muy reducido, normalmente se busca bajar la barrera de los 10kg, suelen utilizar materiales como aleación de aluminio y materiales compuestos.
- Manubrio con poca altura para tener un centro de gravedad bajo y como consecuencia, una mayor efectividad en los pedaleos durante las subidas.
- Ruedas de 29 pulgadas, más grande que las más habituales en bicicletas de montaña. Para conseguir mayor velocidad, suelen utilizar cubiertas más delgadas, normalmente las cubiertas que utilizan solo tienen tacos en los laterales, de esta manera, el terreno no lastra tanto la bicicleta en tramos rectos, y mejora bastante el agarre de la bicicleta en las curvas.
- Uso del disco de freno para un mejor control de la bicicleta que les permitan parar justo en el último momento para no perder velocidad ni la inercia mucho antes.



Fig. 4.5. Bicicleta de montaña Level R9 (Fuente propia y (7))

4.3.2. Enduro- All Mountain

Son bicicletas que están pensadas para ser eficientes en descensos y poder subir con comodidad por terrenos técnicos y escarpados. Pero también tiene la desventaja de que en llano no ofrecen un rendimiento demasiado bueno.

Las características principales de esta categoría son:

- Suelen ser más pesadas que las bicicletas de Cross country, normalmente el peso de estas bicicletas está entre 14kg y 16kg.
- La distancia entre ejes suele ser lo suficientemente larga (en talla M suele rondar entre 1.150 y 1.210 mm), lo que aporta aplomo y consistencia en bajada, y al mismo tiempo una mayor estabilidad ante altas velocidades e imprevistos del trazado. (8)
- Puesto que en Enduro, la velocidad se gana principalmente con la fuerza de la gravedad, por lo que los grupos de transmisión de doble plato o los mono plato son ideales; primero por la relación rango-utilidad y segundo por su mayor simplicidad mecánica. Además, los monoplatos son menos propensos a salidas de cadena y permiten más posibilidades de instalación de guía cadenas.
- Neumáticos de tamaño mediano con anchura de hasta 60mm, de esta manera la bicicleta pueda otorgar un gran apoyo en cualquier circunstancia sin lastrar en exceso.
- Horquillas ajustables con un recorrido entre 140mm y 160mm, por otro lado, las barras de la horquilla suelen tener un generoso diámetro para aportar una mayor rigidez a la horquilla.

4.3.3. Descenso

Son las bicicletas diseñadas para realizar descenso de montaña lo más eficiente posible, por lo tanto tienen que sortear obstáculos, como rocas, raíces de árboles, grandes desniveles que se puede encontrar en el camino. Por esta razón, este tipo de bicicletas son totalmente diferentes a las otras bicicletas de montaña.

Las características más importantes de esta categoría son:

- Suelen ser bicicletas pesadas para ser resistente a los impactos, normalmente tienen un peso de 20kg.
- El sillín están mucho más bajo para tener un centro de gravedad más bajo.

- Doble suspensión equipada con amortiguador blando, la suspensión delantera suele tener un recorrido largo de hasta 200mm, la suspensión trasera suele tener un recorrido de 100mm.
- Ruedas muy anchas de hasta 70mm para conseguir mayor estabilidad ante obstáculos que se puede encontrar durante el descenso.
- Dado que en esta modalidad, el ciclista no tiene que pedalear mucho para conseguir velocidades elevadas, la transmisión suele ser tipo mono plato.
- Disco de freno para tener un mejor manejabilidad ante curvas y obstáculos.



Fig. 4.6. Bicicleta de descenso Trek Session 88 (Fuente : (9))

4.3.4. Conducción libre

La bicicleta de conducción libre es una versión de bicicleta de montaña mixta entre Cross country y descenso. Está diseñada para recorridos extremos con especial énfasis en su arquitectura resistente y segura.

Las características más importantes de esta categoría son:

- Equipada con sistema de suspensión buena para poder hacer maniobras acrobáticas a buena velocidad
- Suele tener un peso que esta entre 15kg y 20kg

- La horquilla suele estar en una configuración dura para no ceder tanto ante pequeños impactos.

4.3.5. Mountain Bike (MTB ó BTT). All terrain.

La bicicleta all terrain como su nombre indica es una bicicleta todoterreno, originalmente se creó sobre todo para rodar por el campo. Pero en la actualidad la mayoría de los ciclistas la usa como una bicicleta para ir por cualquier sitio.

Las características más importantes de estas bicicletas son:

- Ruedas polivalentes con tacos para enfrentarse a cualquier terreno con garantías
- Suelen estar equipada de un conjunto de tres platos y hasta nueve piñones
- Frenos potentes de disco para que el ciclista pueda tener el máximo control de la bicicleta en condiciones extremas.
- Dependiendo de la gama de la bicicleta, pueden presentarse con suspensión delantera o con suspensión total.

4.4. Descripción de los elementos de la bicicleta de montaña

En este apartado se explican las diferentes partes de una bicicleta de montaña, puesto que los componentes varían en función de la categoría de la bicicleta de montaña, en este capítulo se centra en explicar las diferentes partes de una bicicleta de montaña típica de doble suspensión.

Como se puede ver en la figura 4.7, una bicicleta de montaña de doble suspensión suele estar formada por 15 partes.

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| • Sillín [1] | • Llanta [9] |
| • Tija del sillín [2] | • Horquilla delantera [10] |
| • Freno [3] | • Pipa de dirección [11] |
| • Cassete (conjunto de piñones) [4] | • Potencia [12] |
| • Desviador trasero [5] | • Manillar [13] |
| • Pedalier [6] | • Amortiguador [14] |
| • Pedal [7] | • Cuadro [15] |

- Neumático [8]



Fig. 4.7. Partes de una bicicleta de montaña (Fuente: (10))

A continuación, se explican con más detalles las características típicas de los subsistemas más importantes que forman parte de una bicicleta de montaña.

4.4.1. Suspensión trasera

La suspensión trasera es la suspensión que está montada en la parte trasera de la bicicleta. Su función principal es reducir el efecto de las vibraciones de la rueda trasera transmitidas al cuerpo del ciclista. Por otro lado, también es un elemento fundamental para que la bicicleta tenga mayor estabilidad y mejor agarre al suelo ante diferentes trazados.

En la actualidad, las suspensiones que se emplean las bicicletas de montaña son muy variadas, pero como base del sistema de suspensión, el elemento imprescindible del sistema es el amortiguador. En función de la configuración de suspensión trasera utilizada, puede haber más elementos como tirante, bieleta, barras articuladas en el basculante, etc.

En el caso del amortiguador, en función del elemento elástico que ha utilizado para amortiguar los movimientos, se puede clasificar en diferentes grupos: el amortiguador de muelle y el amortiguador de aire. Los de aire suelen ser más ligeros y progresivos mientras que los de muelle son más lineales y pesados, pero con una gran sensibilidad.

Por otro lado, dependiendo del comportamiento del pistón se puede clasificar el amortiguador en dos categorías distintas:

- Push shock: Son los amortiguadores que trabajan en compresión para amortiguar los movimientos, además también son los amortiguadores más comunes que se pueden encontrar en el mercado.
- Pull shock: Este tipo de amortiguador es muy poco frecuente en las bicicletas, a diferencia de los amortiguadores convencionales, estos amortiguadores extienden el pistón para amortiguar los movimientos. Su principio de funcionamiento se basa en el funcionamiento de una bomba, el pistón de aire de la cámara de presión negativa es también el pistón primario que ancla directamente al cuadro. Cuando el pistón se extiende, el sistema bombea aceite desde la cámara de presión negativa hacia a la cámara de presión positiva a través de los circuitos de amortiguación y se comprime el muelle.

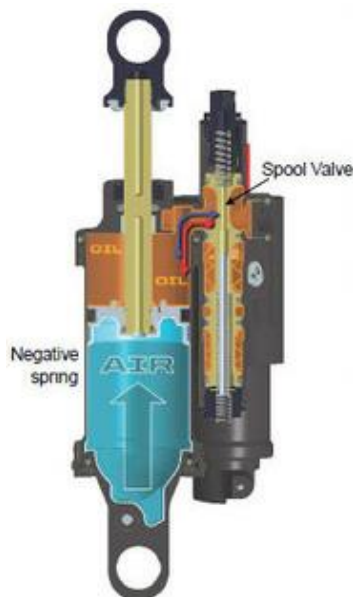


Fig. 4.8. Funcionamiento del amortiguador pull shock (Fuente : (11))

4.4.2. Horquilla de suspensión

La horquilla de suspensión es el componente que une la rueda delantera con el cuadro de la bicicleta mediante la pipa de dirección. Es responsable de absorber las vibraciones debidas a los impactos de la rueda delantera con los obstáculos que se encuentra en el trazado, y al mismo tiempo también es la parte que controla la dirección de toda la bicicleta.

En función del sistema de suspensión que lleva incorporado, se puede clasificar en 4 tipos:

- Muelle: Son las horquillas más básicas que utilizan muelle como elemento elástico para amortiguar los movimientos, su estructura es bastante sencilla, dispone de uno

o dos muelles en cada botella de la horquilla. Los muelles comprimen o extienden en función de las fuerzas axiales que se les aplican. Normalmente son ajustables aplicando más o menos precarga, de esta manera se puede tener diferentes comportamientos en función de las necesidades del ciclista.

En las bicicletas de alta gama, no suelen utilizar este tipo de horquilla porque los muelles tienen una vida útil muy limitada, y su comportamiento varía a lo largo de su vida útil, además suelen ser horquillas muy pesadas que penaliza el peso total de la bicicleta.

- Muelle con aceite: es un sistema dual que utiliza muelle más aceite como elemento de amortiguación. Su principio de funcionamiento es similar al sistema de muelle, pero con la incorporación del aceite le permite también regular la velocidad de compresión y tracción de los muelles.
- Aire con aceite: es un sistema que utiliza aire más aceite en vez de muelle y aceite. Dado que ya no requieren los muelles, el peso de la horquilla se reduce. Pero también son mucho más caros que las horquillas de muelle.
- Aire: es el sistema más avanzado y completo, su principio de funcionamiento se basa en variar la presión del aire comprimido que hay dentro de las cámaras de presión. Su gran ventaja es su reducido peso, pero también son las más caras.

El recorrido de las horquillas de suspensión varía normalmente entre 60mm y 200mm. Las horquillas con poco recorrido son los que tiene menos capacidad de amortiguación, por este motivo, solo tienen uso en las bicicletas urbanas. En el caso de las bicicletas de montaña, las horquillas que tienen equipadas suelen tener un recorrido de entre 100mm y 200mm en función de la modalidad de bicicleta de montaña. En el caso de las bicicletas de conducción libre o descenso, el recorrido suele ser más de 150mm. En el caso de las bicicleta de Cross country, las horquillas suelen tener 100-120mm de recorrido.



Fig. 4.9. Estructura interna de una horquilla de suspensión. (Fuente : (12))

4.4.3. Drivetrain

Es el conjunto de elementos de la bicicleta que se encarga de transmitir o frenar los movimientos de pedaleo a las ruedas con el fin de conseguir el avance o detención de la bicicleta. Generalmente está compuesto por : freno delantero y trasero, cambios, cassette, desviador trasero, cadena y pedalier.

- **Freno delantero y trasero:** son las piezas que se encargan de reducir, detener o mantener la velocidad de una bicicleta. El sistema de frenado de las bicicletas se pueden clasificarse en dos tipos: frenos de llanta y frenos de buje. Los primeros actúan bajo la presión ejercida sobre ambos lados de la llanta mientras los frenos de buje actúan a través de la presión ejercida sobre el buje de la rueda.
- **Cambios:** son los mecanismos con los que el ciclista pueda cambiar la relación de velocidades durante el pedaleo.
- **Cassete:** Es el conjunto de piñones traseros destinados para hacer cambios de velocidades. Mientras más grande el piñón más fácil es el pedaleo.
- **Desviador trasero:** Es el elemento que se encarga de hacer el cambio de velocidad en la parte trasera.
- **Cadena:** Es el elemento que se encarga de transmitir los movimientos rotatorios del pedaleo al cassette de la rueda trasera.
- **Pedalier:** Está integrada por las palancas de pedales, los platos y el eje de pedalier. Los platos más pequeños son de 20 dientes y los más grandes tienen

hasta 48 dientes. Mientras más pequeño es el plato más fácil será para pedalear.

4.4.4. Cuadro

Es la pieza básica de una bicicleta, en la cual se fijan los otros componentes. Su geometría afecta directamente la manejabilidad de una bicicleta. El material utilizado para fabricar el cuadro afecta directamente el peso y la rigidez de la bicicleta. Una bicicleta ligera y rígida siempre ha sido el objetivo de los fabricantes. Por eso en toda la historia de la bicicleta, el material del cuadro siempre ha sido el elemento que más ha evolucionado. Los primeros cuadros son de acero, después los fabricantes han ido probando con otros materiales como la aleación de aluminio, la aleación de titanio, la aleación de magnesio, la aleación de escandio. Por último, los nuevos materiales compuestos como la fibra de carbono y la fibra de vidrio.

4.5. Geometría de una bicicleta de montaña

En esta parte se explica la geometría básica de una bicicleta de montaña.



Fig. 4.10. Geometría básica de una bicicleta de montaña (Fuente : Propia y (13))

- **La distancia entre ejes [1]:** es la distancia entre el punto central de eje del buje de la rueda delantera y el eje del buje de la rueda trasera. En la bicicleta de montaña, esta distancia no suele ser muy grande, la razón de tener una distancia corta es porque una distancia entre eje pequeña otorga mejor manejabilidad a la bicicleta.
- **La distancia entre el eje de pedalier y el eje trasero [2]:** Es la distancia entre el centro del eje del buje de la rueda trasera y el centro del eje de pedalier. Esta cota sirve para definir la longitud de la vaina del basculante. En el caso de las bicicletas de montaña, los fabricantes suelen utilizar vainas cortas para conseguir más velocidad de reacción en las curvas y mejorar la capacidad de escalada.
- **La altura del pedalier [3]:** es la altura del centro del pedalier respecto el suelo. Una menor altura hace que la bicicleta sea más manejable, mientras que una mayor altura produce estabilidad en línea recta, con una rodadura más tranquila sin manos y un aumento de la capacidad para franquear obstáculos sin golpearlos con el cuadro. En el caso de las bicicletas de montaña, esta altura suele ser mayor que las otras bicicletas convencionales. La razón de tener una altura mayor es sobre todo para evitar posibles rozamientos entre el pedalier y los obstáculos del trazado.
- **La longitud de la horquilla [4]:** es la distancia entre el centro del eje de la rueda delantera y la cara inferior de la pipa de dirección. Para bicicletas de montaña, esta distancia suele ser más corta que las bicicletas de carretera con el objetivo de bajar el centro de gravedad del conjunto ciclista-bicicleta, y por tanto una mayor estabilidad.
- **La longitud de la pipa de dirección [5]:** Es la distancia que va desde el anclaje de la horquilla hasta el anclaje del manillar
- **La longitud del tubo superior [6]:** es la distancia entre la pipa de dirección y el tubo de sillín. Esta distancia afecta directamente la geometría del cuadro y por tanto la talla de la bicicleta.
- **El ángulo del sillín [7]:** es el ángulo que se forma el plano horizontal del sillín con el tubo de sillín.
- **El ángulo de dirección [8]:** es el ángulo que se forma el eje de la horquilla con el plano horizontal, las bicicletas de montaña suelen tener un ángulo de dirección alrededor de unos 70 grados. Cuando mayor sea este ángulo, más inmanejable queda la bicicleta; pero tampoco interesa tener un ángulo excesivo pequeño, porque un ángulo de dirección pequeña hace que la bicicleta sea más lenta para tomar las curvas aunque son más estables en velocidades mayores.

5. Sistemas de suspensión trasera de una bicicleta de montaña

Teniendo en cuenta su configuración, básicamente se puede clasificar en 4 grandes grupos: sistema de suspensión trasera mono pivote, sistema de suspensión trasera mono pivote articulado, sistema de suspensión de 4 barras, sistema de suspensión de 6 barras.

5.1. Sistema de suspensión trasera mono pivote

El sistema de suspensión trasera mono pivote es el sistema de suspensión trasera más sencillo que se puede encontrar en el mercado. Como se puede observar en la figura 5.1, el sistema mono pivote está caracterizado por un cuadro trasero triangular con un único punto de articulación y ataca directamente sobre el amortiguador, por lo que el comportamiento de la suspensión trasera suele ser muy lineal. La suspensión se hace más blanda a medida que se agote el recorrido. La otra caracteriza importante a tener en cuenta es su alta efectividad de pedaleo que esta poco afectada por el movimiento del amortiguador.



Fig. 5.1. Ejemplo típico de una bicicleta con suspensión trasera monopivote: Santa Cruz superlight (Fuente : (14))

5.2. Sistema de suspensión trasera mono pivote articulado

El sistema de suspensión trasera mono pivote articulado como su nombre indica es un tipo de suspensión que tiene prácticamente la misma característica funcional que el sistema de suspensión mono pivote. Pero debido a sus articulaciones en el cuadro delantero, el sistema se queda finalmente como un sistema articulado de 4 barras. Como ventaja, el amortiguador está fijado en el cuadro delantero, por tanto su rigidez y estabilidad también es mayor en comparación con el sistema de suspensión mono pivote. Por otro lado, debido a las articulaciones del sistema, el comportamiento de la suspensión ya no es tan lineal como el sistema mono pivote, el comportamiento de la suspensión es variable a lo largo del recorrido del amortiguador.

Un ejemplo típico de este sistema de suspensión es la bicicleta Rocky Mountain Element.



Fig. 5.2. Ejemplo típico de una bicicleta con suspensión trasera monopivote articulado: Rocky Mountain Element (Fuente : (15))

5.3. Sistema de suspensión de 4 barras

El sistema de suspensión 4-bar es bastante común y no se limita a la industria ciclista, que utiliza esta configuración para su sistema de suspensión trasera. Es un sistema de suspensión compuesto por 4 elementos: triángulo delantero, vainas, tirantes y bieletas

Dependiendo de su configuración, este tipo de sistema se puede clasificar en varios subgrupos: Horst Link, punto de pivote virtual, amortiguador flotante, etc.

5.3.1. Sistema de suspensión tipo Horst Link

A diferencia de los sistemas de suspensión compuestos por dos triángulos (el triángulo delantero y el triángulo trasero formado por vaina y tirante) y un solo punto de pivote principal, el sistema de suspensión tipo Horst Link tiene un punto de pivote auxiliar en la vaina, delante de la puntera, actuando de manera que rompe la vaina y por tanto ya no existe un brazo rígido entre el pivote principal y el eje de la rueda trasera.

Como ventaja, el punto de pivote auxiliar del Horst Link reduce las interacciones con el pedaleo otorgando movilidad e independencia a la rueda trasera, sobre todo del freno. Pero al tener más articulaciones, el sistema también es más complejo lo que las hace más propensas a la aparición de holguras. Por otro lado también pesa más al llevar más ejes y rodamientos.

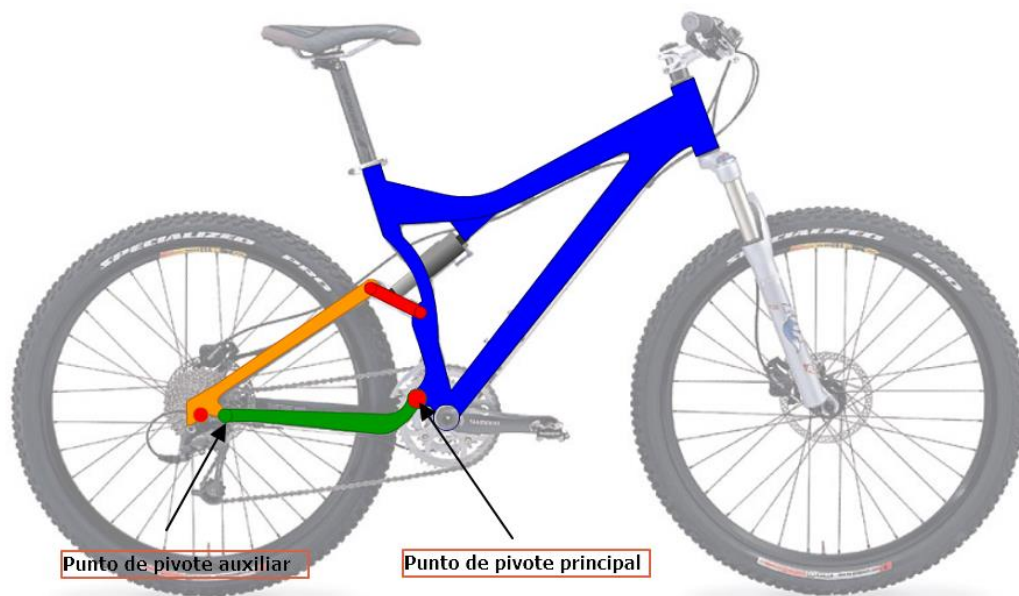


Fig. 5.3 Ejemplo de la suspensión trasera tipo Horst Link con sus dos puntos de pivote
(Fuente : Propia y (16))

5.3.2. Sistema de suspensión tipo punto de pivote virtual

Como el propio nombre del sistema indica, el sistema de suspensión tipo punto de pivote virtual no tiene un punto de pivote físico, por lo tanto el sistema no está limitado por la geometría del cuadro, este punto de pivote virtual se cambia de posición en el espacio cuando el recorrido del amortiguador cambia.

El sistema consiste en que un basculante trasero de una sola pieza queda unido al triángulo delantero mediante dos bieletas, una superior y otra inferior, que giran en sentidos opuestos. Con ello se consigue que al pedalear se genere una fuerza de expansión que neutraliza la tendencia a hundirse con el pedaleo. (17).



Fig. 5.4 Bicicleta Santa Cruz Blur con la suspensión trasera tipo punto de pivote virtual
(Fuente : (18))

5.3.3. Sistema de suspensión tipo amortiguador flotante

El sistema de suspensión con amortiguador flotante tiene una característica muy peculiar que lo hace diferente a los otros sistemas de suspensión: los dos ejes del amortiguador van articulados directamente a dos bieletas que a su vez son elementos de unión entre el triángulo delantero y el triángulo trasero. Por lo tanto el amortiguador no se ancla a ningún punto fijo de los dos triángulos, sino que está suspendido entre dos bieletas.

Debido a esta configuración, la suspensión trabaja comprimiendo o extendiendo los dos ejes del amortiguador al mismo tiempo, como consecuencia de esta configuración del amortiguador, la sensibilidad de la suspensión trasera aumenta considerablemente ante

cualquier movimiento de la rueda trasera. La otra gran ventaja de este sistema es su característica versátil que permite configurar el sistema de múltiples formas y ajustarse al tipo de amortiguador y comportamiento que necesite el ciclista.

Como desventaja, igual que los otros sistemas complejos, este sistema requiere mayor coste por los rodamientos y ejes, al mismo tiempo también da más dificultad para el mantenimiento.



Fig. 5.5 Bicicleta Trek Fuel EX con la suspensión trasera tipo amortiguador flotante
(Fuente: (19))

5.3.4. Sistema de suspensión tipo active braking pivot o Split pivot

El sistema de suspensión trasera Active Bracking Pivot también llamado ABP, se basa en el mismo funcionamiento del sistema Horst Link con la diferencia de que sitúa la articulación al eje de la rueda trasera en vez de en mitad de la vaina. Se trata por tanto de un tipo de mono pivote articulado dado que no hay articulación entre el eje de la rueda trasera y el pivote principal. De esta forma, puede minimizar la interacción con las frenadas garantizando la sensibilidad del sistema de suspensión durante las frenadas.



Fig. 5.6 Bicicleta Trek Slash 2016 con la suspensión trasera tipo active braking pivot
(Fuente : (20))

5.3.5. Sistema de suspensión tipo Kona

El sistema de suspensión tipo Kona generalmente utilizado en la bicicleta de montaña de la marca Kona es un sistema de suspensión de 4 barras llamado como “faux bar” (“falso cuatro”) porque no tiene Horst Link en la vaina. Su principio de funcionamiento se basa en que los puntos de pivotes se deben mantenerse lo más alejados posible. De esta manera, el sistema puede reducir al mínimo la acumulación de tolerancias que pueden dar movimientos incontrolados de los pivotes.



Fig. 5.7 Bicicleta Kona Operator 2016 con la suspensión trasera tipo Kona (Fuente : (21))

5.4. Sistema de suspensión de 6 barras

El sistema de suspensión de 6 barras es uno de los sistemas que no se ve todos los días, como ventaja, su comportamiento ya no es lineal, el comportamiento de la suspensión varía en función del tramo del recorrido del amortiguador, por lo que tiene una buena progresividad. La otra ventaja de este sistema es su reducido efecto de retroceso en los pedales (efecto KickBack), esto hace que la efectividad de los pedaleos es bastante buena. Pero por otro lado, el gran inconveniente del sistema es su complejidad y su gran número de articulaciones que dificulta considerablemente el mantenimiento del sistema de suspensión.



Fig. 5.8 Ejemplo típico de una bicicleta con suspensión trasera 6-bar: Cube TWO15 2015
(Fuente : (22))

6. Dimensionamiento y modelado de la bicicleta.

6.1. Software utilizado para el dimensionamiento y modelado

El software utilizado para el dimensionamiento y modelado de la bicicleta de montaña desarrollada en el presente proyecto ha sido el conocido comercialmente como SolidWorks en su versión del año 2015.

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.(23)

El software utilizado para hacer el análisis previo del nuevo sistema de suspensión de la bicicleta desarrollada en el presente proyecto ha sido el conocido comercialmente como Linkage simulator. Es un programa libre destinado para hacer simulaciones de barras articuladas de forma sencilla.

6.2. Consideraciones para el dimensionamiento y modelado de la bicicleta

Como consideraciones y requerimientos iniciales para el diseño, en el diseño y modelado de la bicicleta de este proyecto se deben cumplir cuatro requisitos básicos: mantener la geometría de una bicicleta de montaña típica, utilizar elementos comerciales siempre que sean posibles, diseñar los elementos con suficiente resistencia sin complicar mucho la fabricación, utilizar un sistema de suspensión trasera innovadora.

6.2.1. Geometría de la bicicleta

Para el cumplimiento de la geometría de la bicicleta, se decide usar como base de diseño, una bicicleta de montaña comercial clasificada según el fabricante como una bicicleta todo terreno orientado para el ámbito de ocio. En este caso la bicicleta que se ha elegido para el dimensionamiento previo al modelado es la talla M de la bicicleta todo terreno GIANT REIGN 2 27.5". De esta forma, la bicicleta que se va a desarrollar también se mantiene las características dimensionales de una bicicleta todo terreno con un uso orientado para el ámbito no deportivo. Según la especificación técnica del fabricante, la geometría de la bicicleta GIANT REIGN 2 27.5" es la siguiente (24):

Geometría de la bicicleta GIANT REIGN 2 27.5"	
Angulo del tubo de dirección	65.0 grados
Angulo del tubo de sillín	73.0 grados
Tubo superior	620 mm
Tubo de dirección	94 mm
Vainas	434 mm
Distancia entre ejes	1191 mm
Altura del sillín	839 mm
Ruedas	26 x 2.35 pulgadas
Longitud de la horquilla	542mm
Diametro del disco de freno delantero	200 mm
Diametro del disco de freno trasero	180 mm

Tabla 6.1 Geometría básica de la bicicleta de montaña GIANT REIGN 2 27.5". (Fuente: Propia)

A continuación se realiza mediante Solid Works un croquis simplificado de la bicicleta usando la geometría de la tabla 6.1

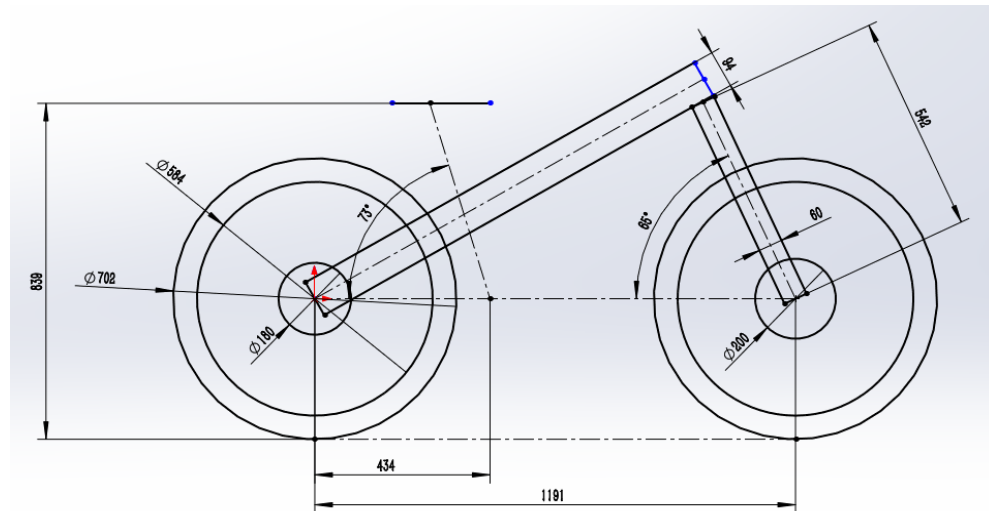


Fig. 6.1 Croquis con la geometría básica de la bicicleta a desarrollar. (Fuente: Propia)

6.2.2. Elementos comerciales

Otro requisito importante para el diseño de la bicicleta es el uso de los elementos comerciales siempre que sean posibles. Después de analizar las diferentes partes de la bicicleta, se decide utilizar los mismos componentes que la bicicleta GIANT REIGN 2 27.5" excepto el basculante, el amortiguador, el cuadro delantero y el sistema de suspensión trasera.

Por lo tanto, los elementos comerciales que no requieren un desarrollo propio se quedan listado en la tabla 6.2.

Nombre del componente	Modelo comercial
Horquilla	Rock Shox Pike Solo Air, 160mm travel
Manillar	Giant Contact SL DH, 800mm, 31,8
Desviador	Shimano Deore
Cassete	Shimano HG50 11-36
Juego de platos y bielas	Shimano Deore, 24/38 w/MRP 2x Guide
Llantas	Giant P-AM2
Cubiertas	Schwalbe Hans Dampf 26 x 2.35"
Amortiguador	XFUSION PULL SHOCK

Tabla.6.2 Elementos comerciales que se van a utilizar para el diseño (Fuente: Propia)

6.2.3. Estudio de materiales

El objetivo del presente apartado es analizar el tipo de material más adecuado para fabricar los diferentes elementos de la bicicleta.

Atendiendo a las necesidades de una bicicleta de montaña típica que requiere ser ligera y con un bajo coste de fabricación, se procura que la elección del material sea la más apropiada tanto estructuralmente como económicamente, así como medioambientalmente, es decir conseguir a minimizar el impacto ambiental que la construcción de la bicicleta diseñada pueda conllevar.

Por otro lado, con el fin de reducir los costes de fabricación y sus impactos ambientales, se procura utilizar uniones atornilladas siempre que sean posibles. De esta forma, se puede evitar durante la fabricación el uso de técnicas de fabricación como soldadura que tiene una especial dificultad en soldar aluminios, un alto coste en verificar la calidad de soldadura y sobre todo un gran impacto al medio ambiente debido a la energía gastada y gases emitidos.

Actualmente los diferentes materiales utilizados para la construcción de la bicicleta de montaña son básicamente:

- Acero
- Aleación de aluminio
- Aleación de titanio
- Materiales compuestos

Después de analizar y valorar los costes para la fabricación del basculante, cuadro y otros elementos pequeños de la bicicleta, los mejores candidatos son la aleación de aluminio y el acero en función del elemento a fabricar. Aun así, la selección final del material será en función del análisis de rigidez de la estructura. En función del resultado del análisis de elementos finitos, se elige el material más adecuado para la fabricación de las piezas.

Aleación de aluminio

En el caso de la aleación de aluminio, en función del dimensionamiento de la pieza se propone dos posibles opciones: la aleación de aluminio de gama alta 7075 y la aleación de aluminio de gama media 5052.

En el caso de la aleación 7075, es una aleación de aluminio con zinc como principal elemento de aleación. Puesto que es una aleación de aluminio de alta gama con aplicaciones en el sector aeronáutico debido a su alto ratio de resistencia-densidad, su

coste también es relativamente más alto que las otras aleaciones de aluminio. Pero como tiene propiedades mecánicas más buenas que las otras aleaciones de aluminio, también hace que el dimensionamiento de la pieza sea más pequeña y ligera.

En el caso de las aleaciones de aluminio, es muy raro de encontrar aleaciones de aluminio sin ningún tipo de tratamiento aplicado. Normalmente todas las aleaciones de aluminio que hay en el mercado están tratadas térmicamente para que tengan diferentes propiedades mecánicas en función de la aplicación que le quiere dar.

En este caso, la fabricación del cuadro no tiene una criticidad muy elevada como las piezas de la industria aeronáutica, se considera que la aleación solo requiere un tratamiento térmico muy básico como el estabilizado. Por lo tanto, si finalmente elige esta aleación para fabricar las piezas de la bicicleta, la categoría térmica de la aleación debe ser 7075-O.

A continuación en la tabla 6.3, se puede ver las características mecánicas más importantes para el análisis de rigidez.

	7075-O
Densidad [kg/m ³]	2810
Modulo de elasticidad [Mpa]	71700
Coefficiente de Poisson	0.33
Limite elástico [MPa]	103
Tensión de rotura [MPa]	228
Dureza Brinell	60
Soldadura	Por resistencia eléctrica

Tabla.6.3 Propiedades mecánicas de la aleación 7075-O (Fuente: Propia y (25))

En el caso de la aleación de aluminio 5052, sus propiedades mecánicas no son tan buenas como la aleación 7075, pero aun así es una aleación con muy buena resistencia a la corrosión, alta resistencia a la fatiga, soldabilidad y modera resistencia estática. Tiene aplicaciones muy comunes en el sector de la construcción e industria automotriz. Igual que la aleación 7075, debido a que el cuadro no tiene criticidad muy elevada, el tratamiento térmico que debe llevar será simplemente estabilizado.

	5052-O
Densidad [kg/m ³]	2680
Modulo de elasticidad [Mpa]	70300
Coeficiente de Poisson	0.33
Limite elástico [MPa]	89.6
Tensión de rotura [MPa]	193
Dureza Brinell	47
Soldadura	Por resistencia eléctrica

Tabla.6.4 Propiedades mecánicas de la aleación 5052-O (Fuente: Propia y (26))

Acero

El principal motivo de elegir acero como material para fabricar algunos elementos de la bicicleta es por su reducido coste y buenas propiedades mecánicas. En este caso, se elige el acero inoxidable sobre todo por su alta resistencia a la corrosión. Sus ventajas en comparación con otros materiales son:

- Bajo coste en comparación con otros materiales
- Excelentes propiedades mecánicas
- Excelente maquinabilidad
- Alta resistencia a la corrosión y desgaste

En este caso, los elementos que requieren ser fabricados con acero inoxidable son los ejes, porque son los elementos que tienen más desgaste durante su uso diario.

6.2.4. Estudio del sistema de suspensión

Uno de los puntos más importantes de este proyecto es el sistema de suspensión trasera que une el basculante con el cuadro delantero. Después de analizar los diferentes sistemas de suspensión en el apartado 5 del presente proyecto. Se considera que la opción más adecuada para el presente proyecto es el sistema de 4 barras tipo Kona sin el uso del Horst Link. Es decir un sistema de suspensión trasera formado por basculante, cuadro delantero, bieleta, tirante y amortiguador.

A modo de ejemplo se puede observar en la figura 6.2 el típico sistema de suspensión trasera Kona.



Fig. 6.2 Sistema de suspensión trasera tipo Kona (Fuente: (27))

Como se puede ver en la figura 6.2, el sistema de suspensión Kona comercial tiene las siguientes características:

- El amortiguador está configurado de forma vertical con un punto de anclaje cerca del eje de pedalier, y el otro punto anclado a la bieleta.
- El pivote principal del basculante se encuentra cerca del eje de pedalier
- El pivote de la bieleta se encuentra cerca del sillín.
- El tirante del basculante se sitúa por encima de la vaina de manera que se mueve en la misma dirección que el recorrido de la rueda trasera.

Como base de diseño del nuevo sistema de suspensión, se crea una nueva variante del sistema de suspensión trasera tipo Kona.

Como se puede ver en la figura 6.3, el nuevo sistema consiste en colocar el amortiguador acorde a la dirección del cuadro delantero. El basculante va articulado directamente al cuadro delantero con un punto de pivote principal y ataca indirectamente a través de un tirante a una bieleta que está anclada al pistón del amortiguador.

Debido a que el amortiguador del sistema no trabaja a compresión como los amortiguadores convencionales. El principio de funcionamiento de este sistema de suspensión se basa en que el amortiguador se extiende a medida que el punto de pivote del basculante baja. Por lo tanto, una consideración importante a tener en cuenta para este nuevo sistema de suspensión es el uso de un amortiguador no convencional tipo pull shock. De esta manera, el sistema puede amortiguar el movimiento del basculante sin ningún problema.

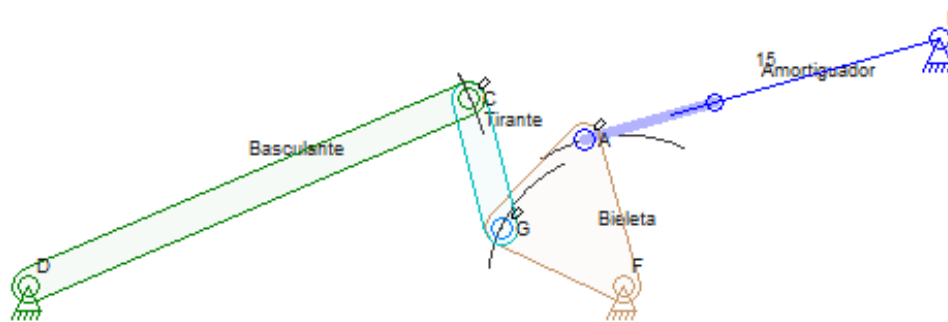


Fig. 6.3 Sistema de suspensión simulado con el programa Linkage Mechanism Designer and Simulator. (Fuente: Propia)

6.3. Modelado de la bicicleta

Una vez obtenida las consideraciones previas para el diseño, se pasa a modelar el conjunto de piezas de la bicicleta. Teniendo en cuenta de que hay dos clases de piezas a modelar: piezas comerciales y piezas nuevas de diseño, los criterios que se han aplicado en cada una de ellas también son diferentes.

El criterio de diseño y modelado que se ha tenido en cuenta para las piezas comerciales es simplemente mantener la geometría original, por lo tanto a nivel de apariencia puede que no sean exactamente iguales que las piezas originales.

Por otro lado, los criterios de diseño y modelado que se han tenido en cuenta para las piezas nuevas son:

- Mantener la geometría del conjunto sin que la geometría final del conjunto ensamblado quede afectada.
- Utilizar geometrías simples para reducir dificultades de fabricación e impactos ambientales debidos a la fabricación.

A continuación se explican las diferentes piezas nuevas que se han tenido que modelar para formar la nueva bicicleta de montaña.

6.3.1. Modelado de piezas nuevas

A continuación se explican las piezas principales que se ha tenido que diseñar y modelar para la nueva bicicleta.

- Cuadro delantero

Como se puede ver en la figura 6.4, la geometría es bastante sencilla. Para modelar el cuadro delantero, se ha utilizado una chapa de aluminio de 620mm X 127mm X 20mm junto con un cilindro en un extremo que funciona como la pipa de dirección.

Al mismo tiempo también se dimensionan y colocan los agujeros donde anclaran los soportes y el basculante. Con el fin de proteger de las aristas vivas, se hace también un redondeo en todas las aristas.

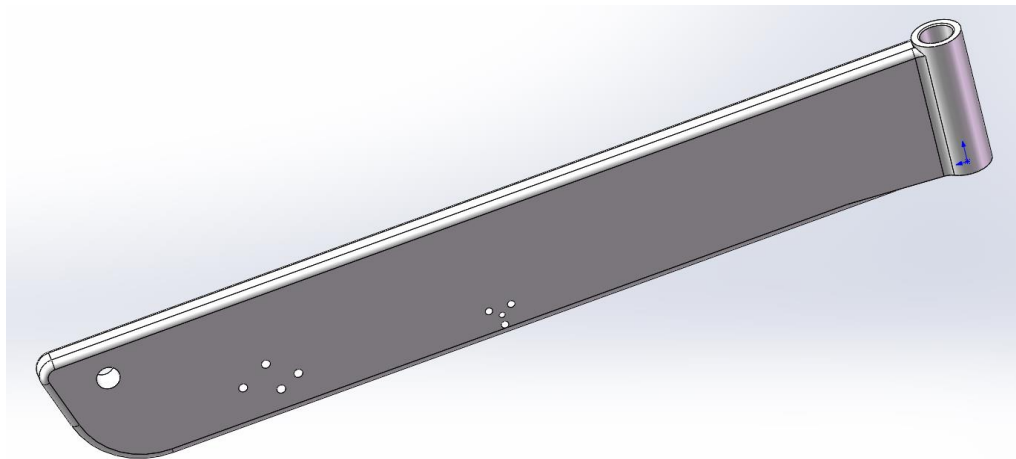


Fig. 6.4 Modelo 3D del cuadro delantero (Fuente: Propia)

- Basculante

En el caso del basculante, está diseñado como un conjunto de dos piezas simétricas. Debido a que la separación para la rueda trasera es mayor que el espesor del cuadro delantero. Por motivo de seguridad y estética, se decide crear las piezas con chapas dobladas.

Como se puede observar en la figura 6.5, el basculante diseñado tiene una geometría muy simple creada a partir de una chapa de aluminio junto con dos operaciones de doblado para garantizar el correcto anclaje a la rueda trasera y al cuadro delantero.

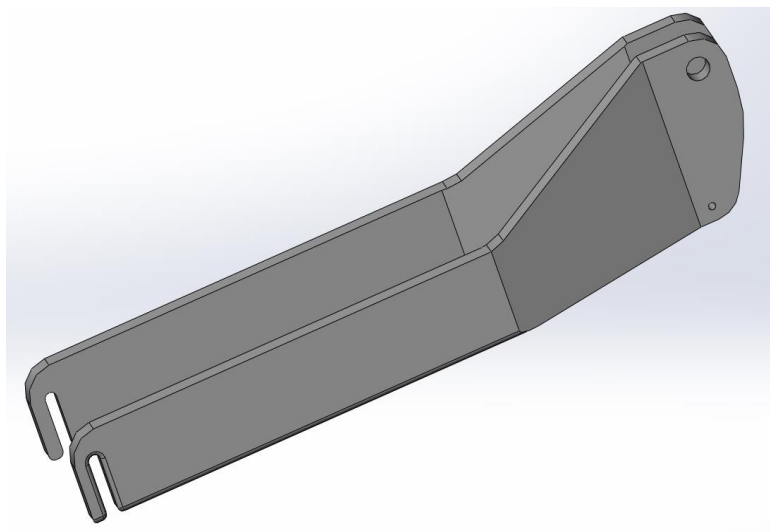


Fig. 6.5 Modelo 3D del basculante (Fuente: Propia)

- Soporte de pedalier

Para el diseño del soporte pedalier también se ha aplicado los mismos criterios que las piezas anteriores: utilizar chapas de aluminio y conformar la chapa cuando así lo requiere.

En este caso, debido a que el amortiguador tiene más espesor que el cuadro delantero. Se ha tenido que conformar el soporte con el fin de no generar interferencias con el amortiguador en toda su carrera de trabajo.

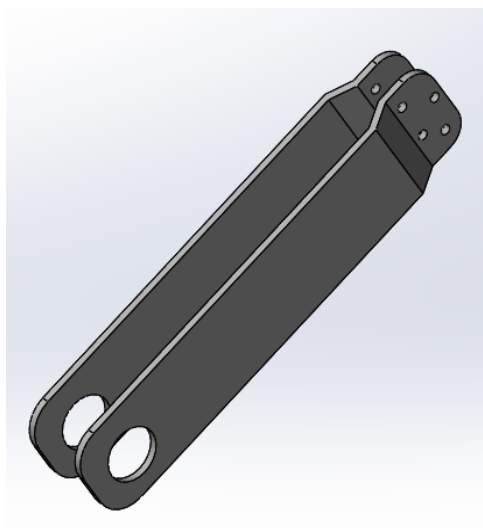


Fig. 6.6 Modelo 3D del soporte pedalier (Fuente: Propia)

- Bieleta

En el caso de la bieleta, se ha creado una pieza donde el movimiento de los puntos de anclaje no se produce colisiones con ninguna parte de la bicicleta. Al mismo tiempo también se dimensiona y se calcula las ubicaciones de los anclajes para que el funcionamiento de la bieleta sea lo esperado.

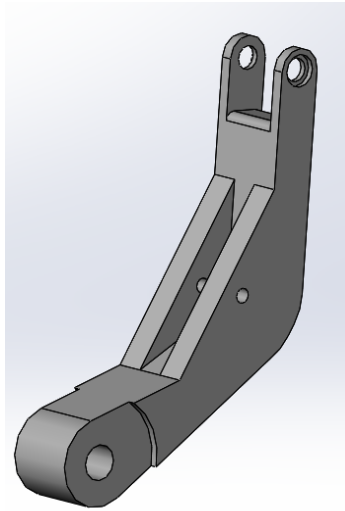


Fig. 6.7 Modelo 3D de la bieleta (Fuente: Propia)

6.3.2. Ensamblaje del conjunto

La razón de este apartado es para mostrar el modelo acabado, además de tener una idea de su geometría final con el fin de poder optimizar su diseño mediante análisis de elementos finitos y análisis cinemáticos en apartados siguientes.

A continuación se muestra en la figura 6.8 y 6.9, la bicicleta modelada basándose de las consideraciones previas al diseño.



Fig. 6.8 Conjunto ensamblado de la bicicleta diseñada. (Fuente: Propia)

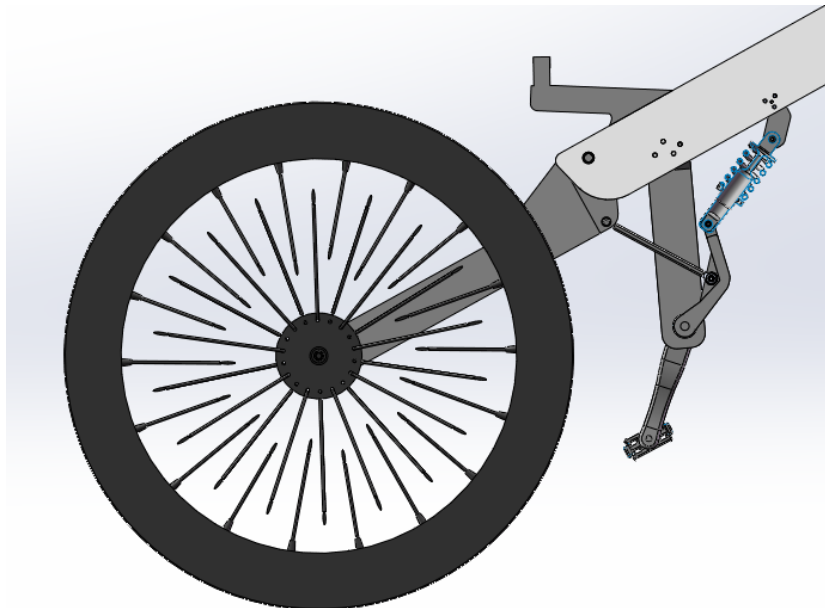


Fig. 6.9 Conjunto de sistema de suspensión trasera. (Fuente: Propia)

6.3.3. Criterios aplicados para el diseño

En este apartado se explican los diferentes criterios de diseño que se han utilizado para diseñar las piezas nuevas.

Como observación del conjunto ensamblado, excepto la pipa de dirección que esta soldada al cuadro delantero, todas las demás piezas son unidas entre ellas a través de uniones atornilladas usando tornillos y pins de fijación.

El motivo de usar la combinación de tornillos y pins de fijación es porque debido a la configuración del amortiguador, tanto el soporte del amortiguador como el soporte del pedalier tiene que trabajar en tracción y soportar fuerza cortante al mismo tiempo.

Analizando el caso y los tipos de fijaciones existentes, los tornillos son los elementos de fijación más buenos y baratos para mantener los soportes pegados al cuadro delantero. Sin embargo, debido a que los tornillos no están preparados para trabajar con esfuerzo cortante, se surge también la necesidad de poner otro tipo de fijación para mantener la pieza fija ante esfuerzo cortante. A nivel de coste y simplicidad, uno de los elementos de fijación que pueda cubrir esta necesidad es el pin de fijación.

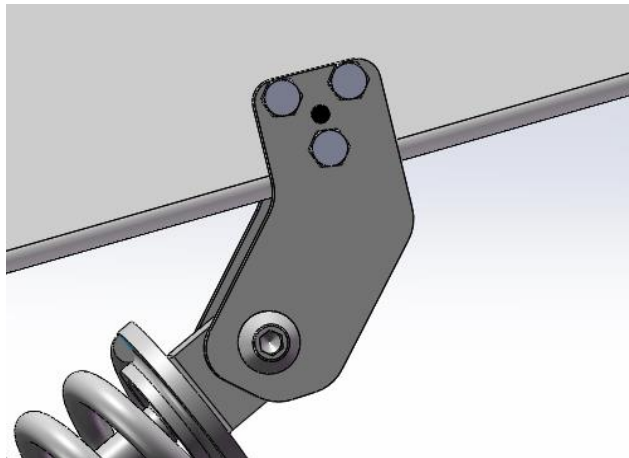


Fig. 6.10 Soporte anclaje amortiguador montado en el cuadro delantero mediante tornillos y pines de fijación. (Fuente: Propia)

Otro criterio que se ha tenido en cuenta para diseñar la articulación entre el basculante y el cuadro delantero es el uso de los casquillos de acero. El motivo de usar casquillos de acero es porque tanto el basculante como el cuadro delantero están pensados para fabricarlos con la aleación de aluminio. Sin embargo el pasador que es una pieza comercial suele estar fabricado de acero. Al tener dos materiales con dureza completamente distintas,

el constante rozamiento de estos dos materiales puede llegar a desgastar el aluminio que es mucho blando que el acero.

Por esta razón, se utiliza casquillos incrustados en las piezas de aluminio como medida preventiva con el fin de evitar desgastes y sobre todo alargar la vida útil tanto del cuadro delantero como del basculante.

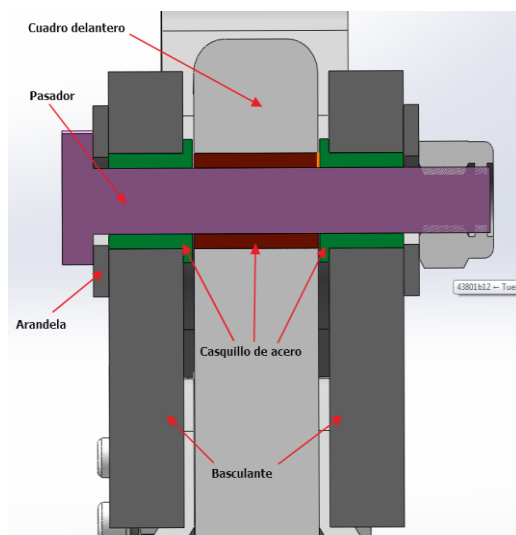


Fig. 6.11 Sección del eje de giro basculante-cuadro delantero. (Fuente: Propia)

7. Análisis de elementos finitos

7.1. Software utilizado para el análisis de elementos finitos

El software utilizado para hacer el análisis de elementos finitos del modelo 3D desarrollado en el presente proyecto ha sido el conocido comercialmente como Ansys en su versión 16.1. Ansys es un software de simulación ingenieril y está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. El programa está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están provistos de una interfaz gráfica. El procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y fluido dinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. (28)

7.2. Consideraciones iniciales

Las consideraciones iniciales que se han tenido en cuenta para el análisis son básicamente el material utilizado, el tipo de mallado, las simplificaciones necesarias y las condiciones de contorno del conjunto ensamblado.

- Materiales

Para el análisis de elementos finitos de las piezas, se ha definido el aluminio 7075-O como material de partida, en función de cómo se quedan los resultados del análisis, se decide el cambio de material en el capítulo de la optimización de diseño.

Para el presente análisis, se han asignado a las diferentes piezas del conjunto el material 7075-O con las propiedades mecánicas que se muestra de la figura 7.1.

Outline of Schematic A2: Engineering Data			
	A	B	C
1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	7075	General_Materials.xml	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
Properties of Outline Row 3: 7075			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	2770	kg / m³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	2.3E-05	C^-1
5	Reference Temperature	22	C
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus an...	
8	Young's Modulus	7.1E+10	Pa
9	Poisson's Ratio	0.33	
10	Bulk Modulus	6.9608E+10	Pa
11	Shear Modulus	2.6692E+10	Pa
12	Field Variables		
13	Temperature	Yes	
14	Shear Angle	No	
15	Degradation Factor	No	
16	Alternating Stress R-Ratio	Tabular	
20	Tensile Yield Strength	2.8E+08	Pa
21	Compressive Yield Strength	2.8E+08	Pa
22	Tensile Ultimate Strength	3.1E+08	Pa
23	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Fig. 7.1. Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 7075-O (Fuente: Propia)

- Hipótesis de cargas aplicadas

En situaciones generales, un ciclista suele pesar alrededor de unos 80kg, pero para el análisis de elementos finitos del conjunto, se ha considerado que la masa aplicada será de 240kg. El motivo de definir una masa mucho más grande que la masa real de un ciclista es porque en situaciones dinámicas, las solicitaciones que reciben la estructura son mucho mayores que en situaciones estáticas.

Después de definir la masa aplicada, se define también en el modelo 3D los puntos del conjunto de bicicleta donde reciben las solicitaciones. En este caso, se han definido 3 zonas donde la carga será uniformemente repartida sobre ellas. Todas estas 3 zonas son partes de la bicicleta que interaccionan con el ciclista: manillar, eje de pedalier, sillín.

Al aplicar la aceleración de la gravedad, la carga que tiene aplicada sobre las 3 zonas quedaría como peso del ciclista que se aplica sobre el conjunto.



Fig. 7.2 Zonas de la bicicleta donde reciben uniformemente la carga. (Fuente: Propia)

- Mallado del conjunto

Teniendo en cuenta de que la estructura a analizar es una estructura que no requiere un análisis de mucha precisión. La optimización de la estructura será en órdenes de magnitud de centímetros. Por este motivo, para el mallado del conjunto se decide emplear el mallado inteligente con una dimensión máxima de 10 mm. De esta manera, los resultados obtenidos ya tienen suficiente resolución para optimizar posteriormente.



Fig. 7.3 Conjunto de bicicleta mallado (Fuente: Propia)

- Condiciones de contorno

Después de mallar el conjunto, se procede a definir las condiciones de contorno. En este caso, se han definido restricciones de desplazamiento en el eje delantero y el eje trasero.

Como simplificación, se ha considera de que la barra que une la bieleta con el basculante es un elemento que transmite esfuerzos de un lado al otro lado. Por lo tanto no es un elemento crítico que debe soportar esfuerzos elevados, se puede considerar que no requiere hacer el análisis de elementos finitos. Por eso se simplifica la barra del conjunto 3D, y se crea un acoplamiento entre la bieleta y basculante. De esta manera, las solicitaciones del basculante son transmitidas a la bieleta sin que haya un enlace físico entre ellas.

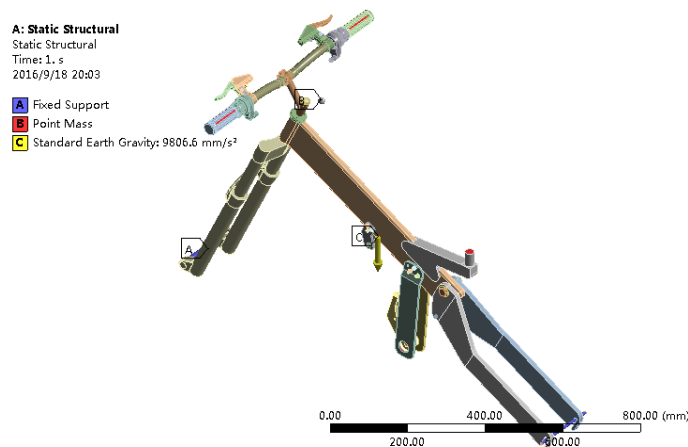


Fig. 7.4 Modelo 3d de la bicicleta con todas las consideraciones iniciales. (Fuente: Propia)

7.3. Resultados del análisis de elementos finitos.

En este capítulo se presentan los resultados que han ofrecido las simulaciones realizadas con el programa Ansys 16.1 para las diferentes piezas diseñadas bajo las condiciones iniciales consideradas en el capítulo 7.2.

La simulación que se han realizado para las 4 piezas diseñadas consiste en analizar:

- Tensión Von Mises de las piezas
- Deformación debida a las solicitaciones
- Factor de seguridad de las diferentes partes.

7.3.1. Distribución de deformaciones de las piezas

En este primer análisis, como se pueden observar en la figura 7.5, las deformaciones acumuladas en las piezas son muy pequeñas, prácticamente se puede decir que son deformaciones despreciables que no afecta nada al comportamiento de la bicicleta tanto en situaciones estáticas como en situaciones dinámicas.

Por otro lado, aunque las deformaciones son muy pequeñas, para que la bicicleta no vaya acumulando deformaciones debido al uso, es importante que las deformaciones sean deformaciones elásticas. Es decir, cuando las solicitaciones desaparecen, la propia estructura debe ser capaz de recuperar la deformación a su estado original. Por este motivo, también se analizan los resultados de tensión Von Mises de las piezas con la finalidad de ver si las tensiones son superiores al límite elástico del material.

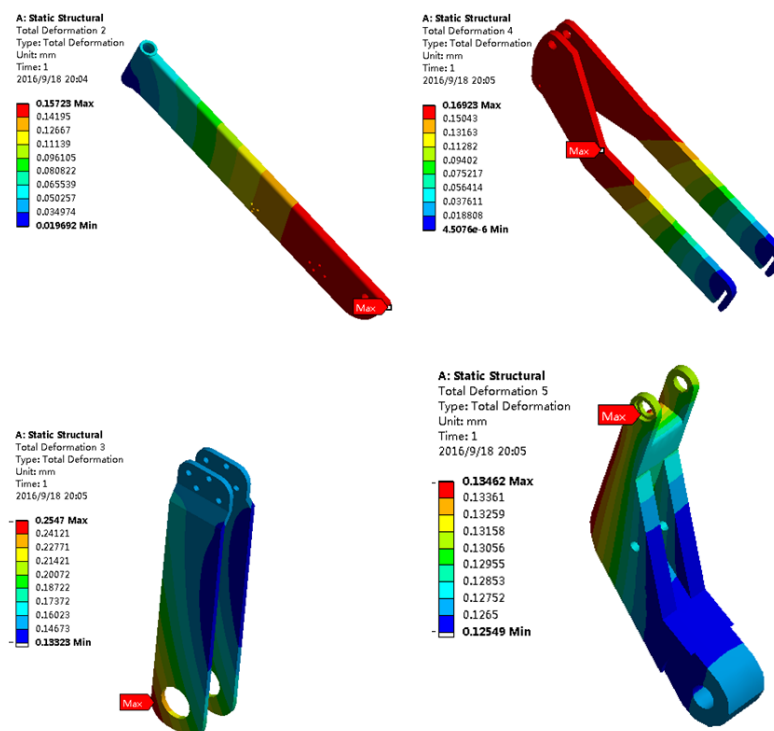


Fig. 7.5 Resultados de deformaciones de las 4 piezas diseñadas (Fuente: Propia)

7.3.2. Distribución de tensión von Mises de las piezas

De los resultados que se pueden ver en la figura 7.6, la máxima tensión Von Mises de las piezas es de 91.415MPa, teniendo en cuenta que el límite elástico del 7075-O es 103 MPa, se puede decir que la tensión Von Mises no ha superado el límite elástico, y por tanto las

deformaciones observadas en el capítulo anterior son deformaciones elásticas que se puede recuperar cuando las solicitaciones desaparece.

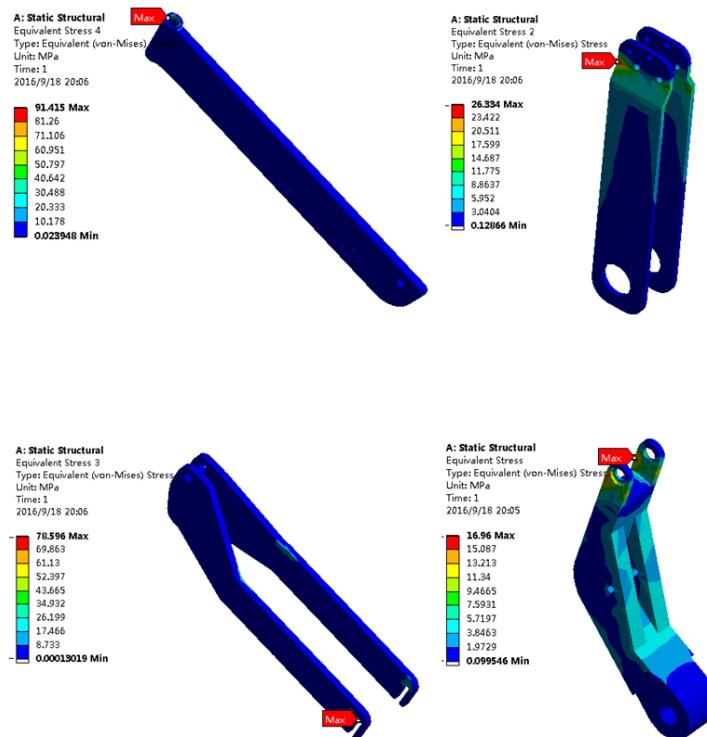


Fig. 7.6 Resultados de tensión Von Mises de las 4 piezas diseñadas (Fuente: Propia)

7.3.3. Factor de seguridad de las piezas

Finalmente también se analizan el factor de seguridad de las piezas diseñadas, en este caso, como se pueden ver en la figura 7.7, la rigidez de las piezas diseñadas son muy elevadas y los factores que presentan son también muy elevados.

En el caso del soporte de pedalier y bieleta, los factores de seguridad que se presentan están por encima de 10. El cuadro delantero y el basculante tienen factor de seguridad de 3.06 y 3.56 respectivamente.

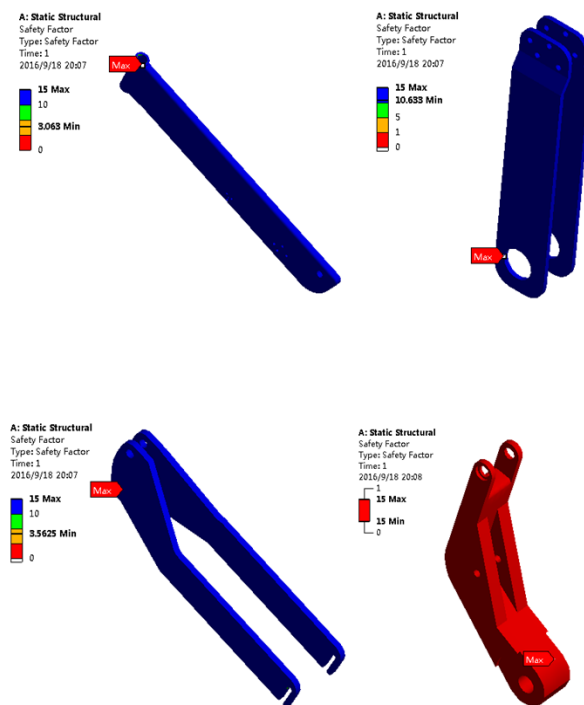


Fig. 7.7 Factor de seguridad de las 4 piezas diseñadas (Fuente: Propia)

7.4. Optimización de las piezas estructurales

Después analizar la rigidez de todo el conjunto en el capítulo 7.3. Se han visto que las piezas diseñadas con el material seleccionado tienen factores de seguridad muy elevados. Con el fin de optimizar el diseño y bajar el coste de fabricación, a continuación se explica y se estudia una serie de mejoras en el diseño para optimizar el diseño y sobre todo reducir el coste de fabricación.

7.4.1. Optimización del diseño

Analizando la distribución de tensión Von Mises de las piezas diseñadas, se han visto que hay zonas muy amplias de las piezas donde la tensión es casi despreciable. Por este motivo, una de las optimizaciones que se puede hacer es reducir el peso de las piezas sin que la rigidez quede afectada. Para eso se ha hecho las siguientes modificaciones en el diseño que se pueden observar en la figura 7.8

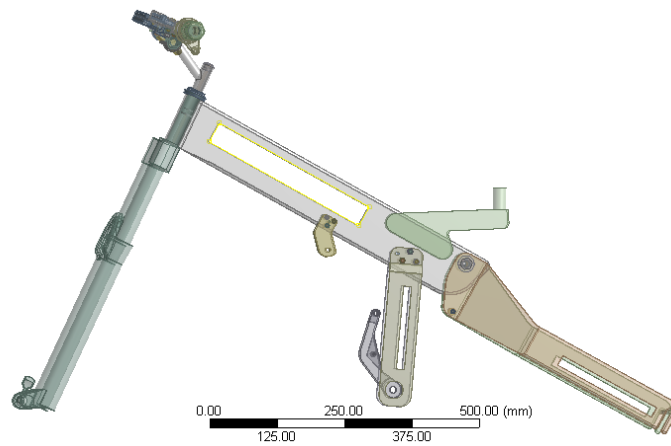


Fig. 7.8 Conjunto de bicicleta con las piezas aligeradas (Fuente: Propia)

A nivel de cada pieza, las modificaciones que se han hecho son las siguientes.

- Se ha hecho un vaciado rectangular de 320mm x 40mm en el cuadro delantero
- Se ha hecho un vaciado rectangular de 155mm x 15mm en el soporte de pedalier
- Se ha hecho un vaciado rectangular de 200mm x 20mm en el basculante de la bicicleta.

A continuación se muestra en los capítulos siguientes los resultados obtenidos después de optimizar la geometría de las piezas.

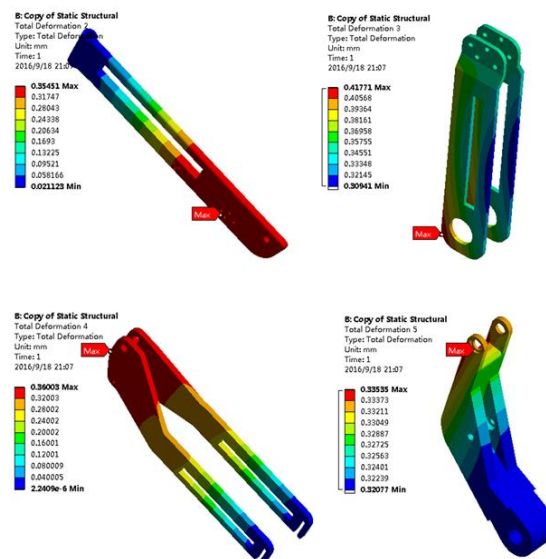


Fig. 7.9 Resultados de deformaciones de las 4 piezas modificadas (Fuente: Propia)

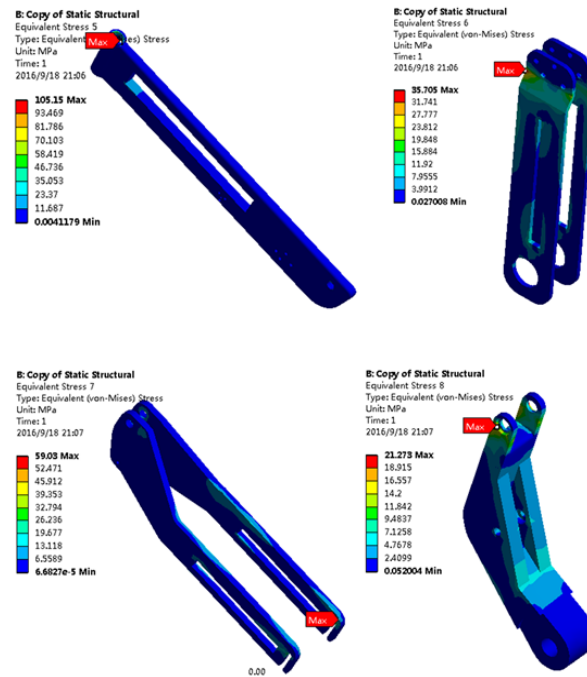


Fig. 7.10 Distribución de tensión Von Mises de las 4 piezas modificadas (Fuente: Propia)

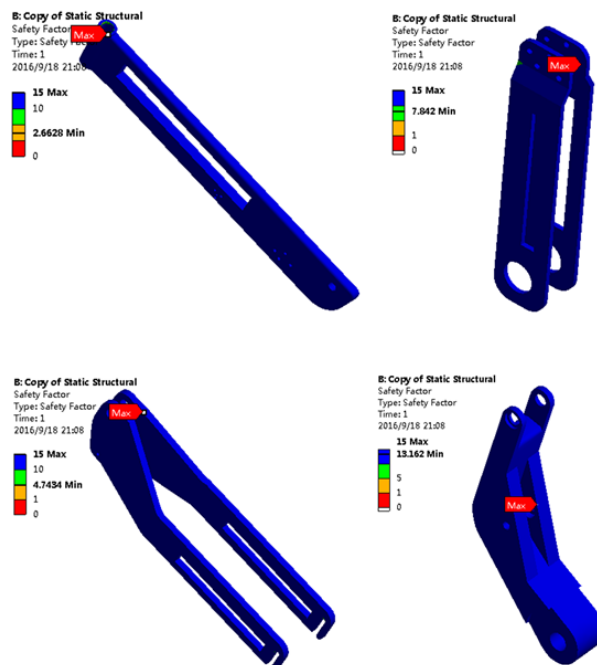


Fig. 7.11 Factor de seguridad de las 4 piezas modificadas (Fuente: Propia)

Teniendo en cuenta los nuevos resultados, cabe destacar que el factor de seguridad de las piezas ha bajado a un nivel intermedio. Pero aun así son factores muy elevados que tienen un impacto directo al coste de fabricación de estas piezas

7.4.2. Cambio de material

Con el fin de mejorar más el diseño y al mismo reducir el coste de fabricación, se hace a continuación un cambio de material a 5052-O.

Properties of Outline Row 3: 5052-O				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	2600	kg m ⁻³	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
4	Coefficient of Thermal Expansion	2.3E-05	C ⁻¹	
5	Reference Temperature	22	C	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and...		
8	Young's Modulus	7.03E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0.33		
10	Bulk Modulus	6.8922E+11	Pa	
11	Shear Modulus	2.6429E+11	Pa	
12	Field Variables			
13	Temperature	Yes		
14	Shear Angle	No		
15	Degradation Factor	No		
16	Alternating Stress R-Ratio	Tabular		
20	Tensile Yield Strength	90	MPa	
21	Compressive Yield Strength	90	MPa	
22	Tensile Ultimate Strength	190	MPa	
23	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Fig. 7.12 Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 5052-O (Fuente: Propia)

Después de analizar la influencia de este cambio de material, los resultados obtenidos de la simulación son los que se pueden observar en las figuras 7.13, 7.14 y 7.15.

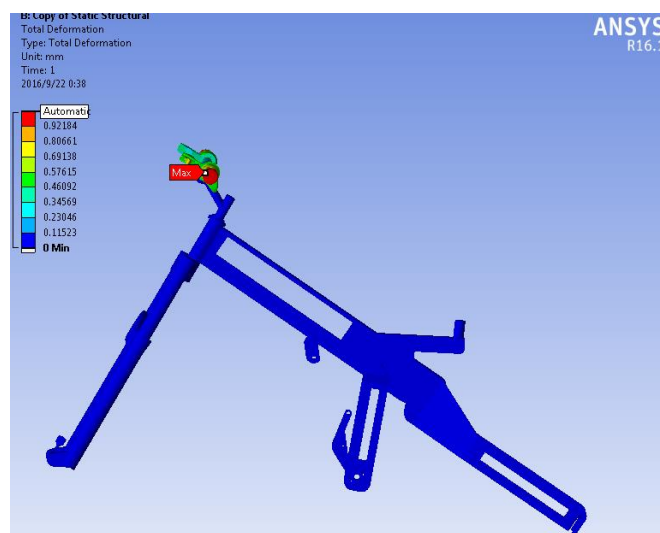


Fig. 7.13 Resultados de deformaciones del conjunto con la geometría modificada con el material 5052-O (Fuente: Propia)

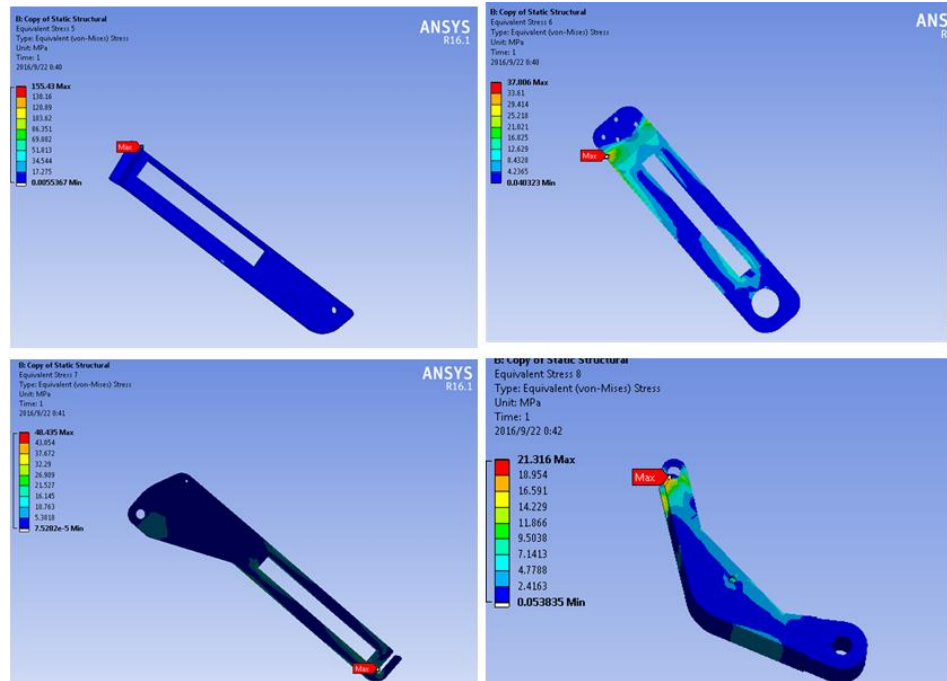


Fig. 7.14 Distribución de tensión Von Mises de las piezas modificadas con material 5052-O (Fuente: Propia)

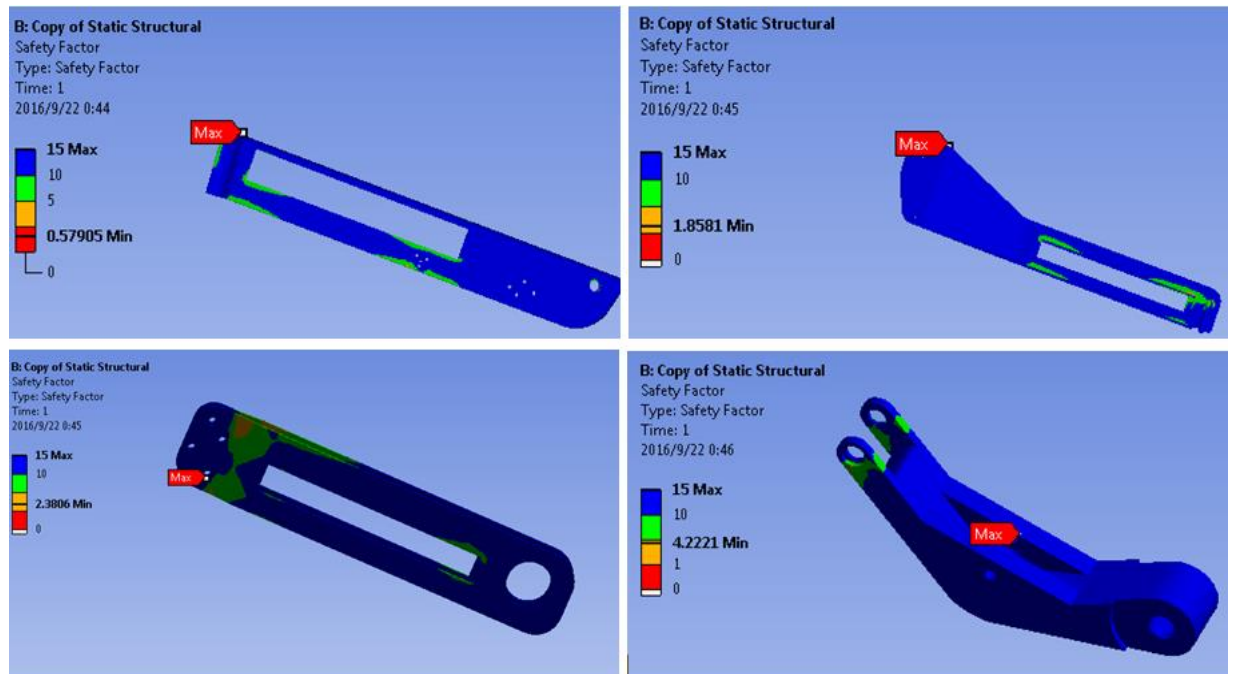


Fig. 7.15 Factor de seguridad de las piezas modificadas con material 5052-O (Fuente: Propia)

Después de analizar los resultados obtenidos de la última simulación con el cambio de material a 5052-O, el factor de seguridad de cada una de las piezas ha bajado considerablemente.

Sin embargo, como se puede observar en la figura 7.14 y 7.15. La tensión Von Mises de la zona de pipa de dirección ha quedado por encima del límite elástico del material 5052-O. Debido a esto, la deformación que puede haber en esa zona será una deformación plástica que puede afectar el la vida útil del cuadro delantero. Por otro lado, el factor de seguridad también se ha quedado muy pequeño.

7.4.3. Resultado final de la optimización

Como resumen de la optimización, se necesita implementar los siguientes cambios en el diseño antes lanzar la fabricación de las piezas :

- Utilizar el material 7075-O para fabricar el cuadro delantero
- Utilizar el material 5052-O para fabricar las otras piezas
- Implementar los cambios de diseño en las piezas nuevas con el fin de reducir el peso.

8. Estudio cinemático de la bicicleta desarrollada

El software utilizado para hacer el estudio cinemático de la bicicleta se llama Linkage versión X3, es un software comercial destinado para hacer simulaciones cinemáticas de las bicicletas.

A continuación se explica el comportamiento cinemático de la bicicleta desarrollada en este proyecto. Para eso se ha utilizado el programa de simulación Linkage X3 para modelar y analizar el comportamiento de la bicicleta diseñada.

Para obtener unos resultados coherentes, es muy importante definir bien los parámetros de entrada que requiere el programa antes de empezar a simular, en este caso los parámetros que se han definido para la simulación son:

- El peso del ciclista es de 80 kg
- El amortiguador de la suspensión trasera es del tipo pull shock con una carrera de extensión de 20mm
- El recorrido de la rueda trasera es de 100mm, un valor intermedio entre bicicletas todo terreno(80mm de recorrido trasero) y bicicletas de descenso(140mm de recorrido trasero)
- El recorrido de la rueda delantera es de 160mm, un valor acorde a la horquilla elegida

Después de modelar las diferentes partes de la bicicleta en el programa, se empieza a asignar las articulaciones y puntos de pivotes acorde al estudio preliminar del sistema de suspensión trasera utilizado para diseñar la bicicleta.

Como se puede ver en la figura 8.1. Para la simulación con el programa en total se han asignado 8 articulaciones diferentes en la bicicleta.

- Articulación 1: Eje de la rueda trasera
- Articulación 2: Eje de pedalier, al mismo tiempo también es el punto de pivote de la bicicleta con el cuadro delantero
- Articulación 3: Eje de la rueda delantera
- Articulación 4: Pivote principal entre el basculante y el cuadro delantero
- Articulación 5: Punto de pivote entre el basculante y el tirante
- Articulación 6: Anclaje delantero del amortiguador
- Articulación 7: Anclaje trasero del amortiguador
- Articulación 8: Punto de pivote entre el tirante y la bicicleta

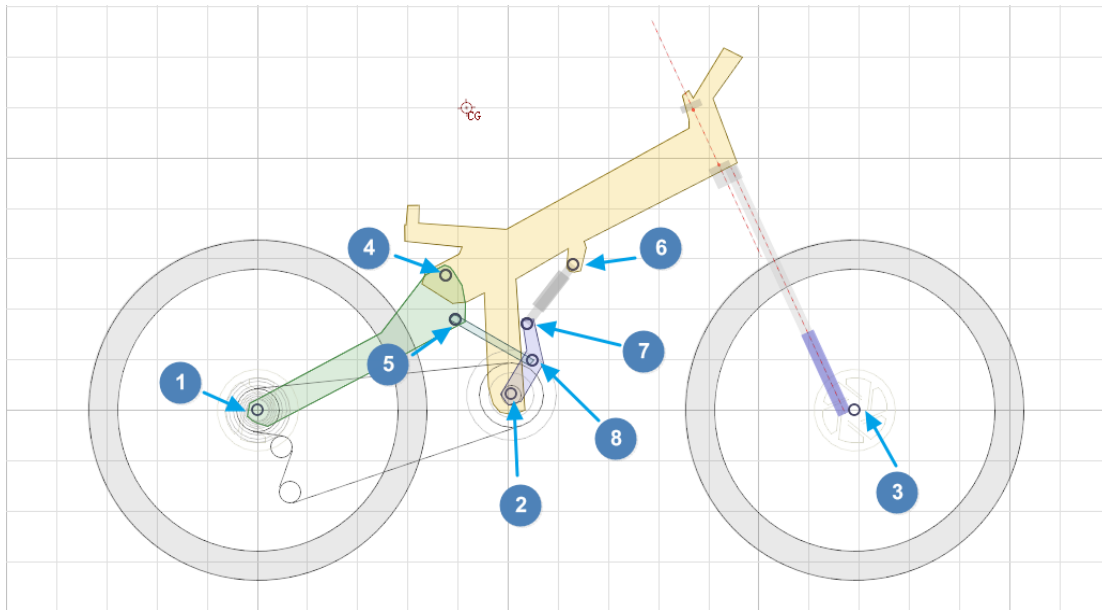


Fig. 8.1 Croquis 2D de la bicicleta modelado con el Linkage X3 (Fuente: Propia)

8.1. Breve introducción de los conceptos técnicos

Antes de empezar a analizar los resultados obtenidos de la simulación, se explica a continuación unos conceptos técnicos que van relacionados con el comportamiento cinemático de la bicicleta.

- Anti-Squat

El termino Anti-squat se refiere a la fuerza que realiza la cadena sobre el basculante y que se opone a la compresión de la suspensión trasera debida a la aceleración. Es un parámetro que se mide en porcentajes. Una bicicleta con un 100% de Anti-squat, por poner un ejemplo es una bicicleta con un pivote más o menos alto en la que la fuerza de la cadena es justamente la opuesta a la fuerza que hace el cuerpo cuando aceleramos la bicicleta.

Dicho de otra forma, es uno de los parámetros que refleja la efectividad de pedaleo de un sistema. En el caso de las bicicletas comerciales de alta gama, el valor de este parámetro suele estar entre 100% y 150%.

- Leverage Ratio

Es la relación entre el recorrido de la rueda trasera y el recorrido del amortiguador. Un sistema con un Leverage Ratio descendente quiere decir que su comportamiento es progresivo, es decir la suspensión trasera tiene un comportamiento blando al principio y duro al final.

En cambio, si el sistema tiene un Leverage Ratio ascendente, la suspensión trasera será blanda al principio y dura al final. Por lo tanto, se puede decir que su comportamiento es regresivo.

- Pedal Kickback

El Pedal Kickback es el giro hacia atrás que realizan las bielas cuando la suspensión se comprime bruscamente. Este giro depende en la mayoría de los casos de la eficacia de pedaleo. Por lo general los cuadros que tienen mucha eficacia de pedaleo también tienen mucho kickback mientras que los cuadros con menos efectividad tienen muy poco Kickback. Normalmente en las bicicletas de alta gama, el valor de Kickback suele estar por debajo del 20%. (29)

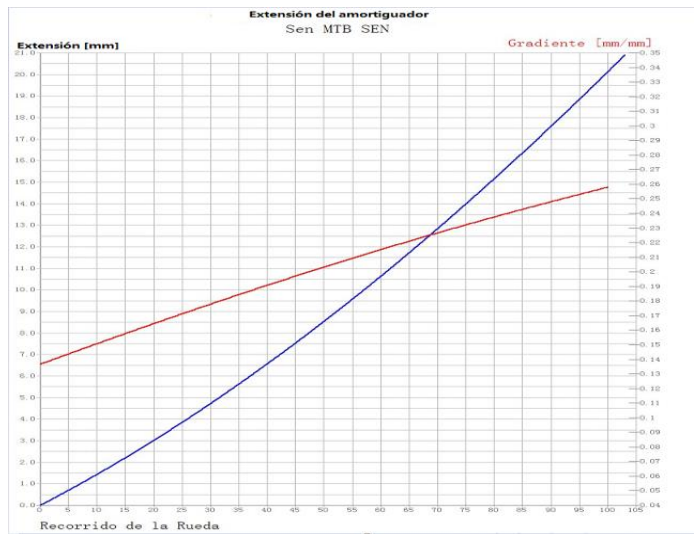
8.2. Analisis de los resultados de la simulacion

8.2.1. Relacion entre el recorrido del amortiguador y el recorrido de la rueda trasera

Como se puede observar en la gráfica 8.1, el comportamiento del amortiguador es lineal en todo el recorrido de la rueda trasera.

En este caso aunque el basculante no ataca directamente el amortiguador, la relación de movimiento del basculante y bieleta es casi lineal. Como consecuencia de esta relación lineal entre el basculante y la bieleta que ataca el amortiguador, el comportamiento del amortiguador en todo el recorrido de la rueda trasera también es lineal. Por lo tanto, el resultado de la gráfica también es bastante coherente.

Debido a que el parámetro recorrido de extensión del amortiguador es variable en función del amortiguador elegido, para la simulación se ha fijado el recorrido en 20mm con el objetivo de conseguir un comportamiento del amortiguador más o menos homogéneo.

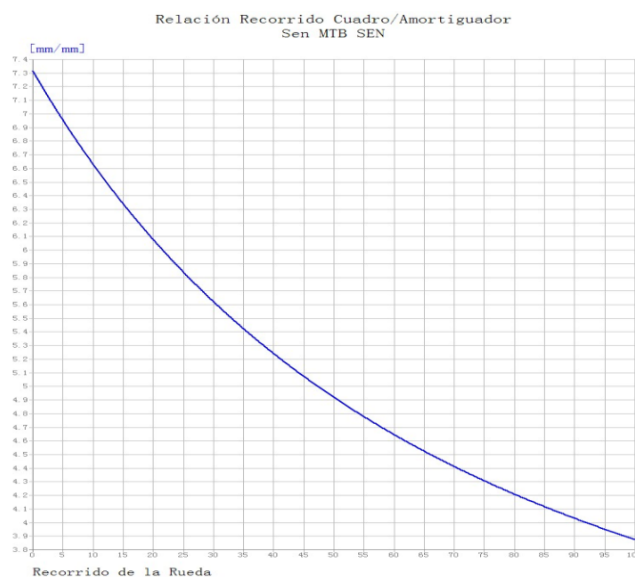


Grafica 8.1 Relación recorrido amortiguador Vs. Recorrido rueda trasera (Fuente: Propia)

8.2.2. Relación entre el recorrido del cuadro y el recorrido del amortiguador

Como se ha comentado al principio de este capítulo, esta relación también tiene su propio nombre técnico: Leverage ratio.

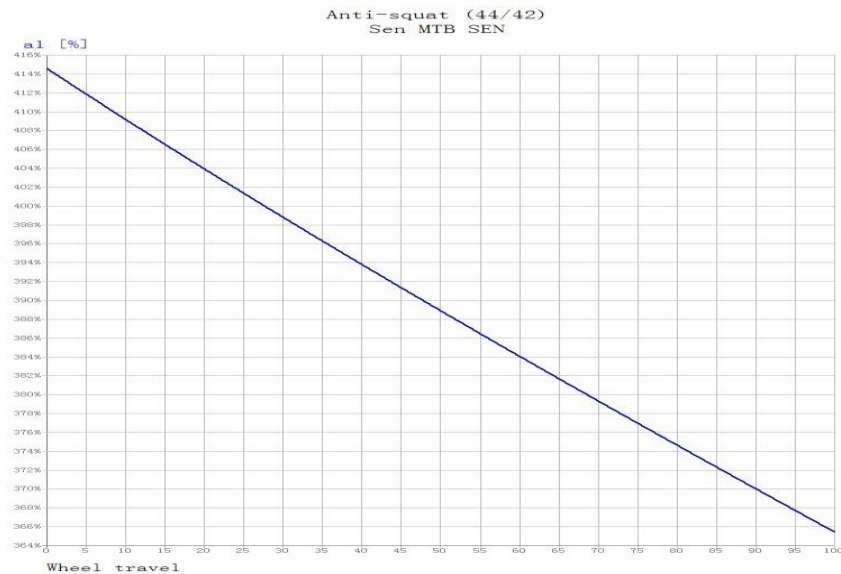
En este caso, como se puede ver en la gráfica 8.2, el Leverage Ratio de la bicicleta diseñada es descendente. Es decir su comportamiento es progresivo, además es un sistema muy progresivo con el que se consigue una gran sensibilidad ante pequeños obstáculos.



Grafica 8.2 Relación recorrido cuadro Vs. Recorrido amortiguador (Fuente: Propia)

8.2.3. Efectividad del pedaleo

Como se puede observar en la gráfica 8.3, la bicicleta diseñada tiene un porcentaje de anti squat muy elevado, más de 400% en comparación con valores normales de 150% de las bicicletas comerciales de alta gama. Por lo tanto la efectividad de pedaleo es bastante mala.



Grafica 8.3 Grafica de anti squat vs recorrido rueda trasera (Fuente: Propia)

Debido a que el parámetro anti squat es un parámetro que refleja la efectividad del pedaleo, para conocer la causa del anti squat elevado, a continuación se va a calcular gráficamente el valor para ver si tiene cierta coherencia con los resultados de la gráfica 8.3.

El proceso de cálculo consiste en 5 pasos(30):

1º- El primer paso consiste en trazar una línea (Línea Verde) desde el pivote principal hasta el eje de la rueda.

2º- El segundo paso consiste en marcar con otra línea la trayectoria de la cadena (Línea Roja).

3º- En el tercer paso trazamos una línea vertical que pase por el eje de la rueda delantera (Línea Morada).

4º- En el cuarto paso lo que vamos a hacer es una estimación aproximada de la posición del centro de gravedad del conjunto ciclista-bicicleta. Una vez que colocamos este punto trazamos una línea horizontal (Línea Negra) hasta que corte con la línea anterior.

5º- El último paso consiste en trazar una línea (Línea Azul) que empiece en el punto inferior de la rueda trasera y que pase por la intersección entre las líneas Verde y Roja. La prolongamos hasta que corte a la línea Vertical, línea Morada.

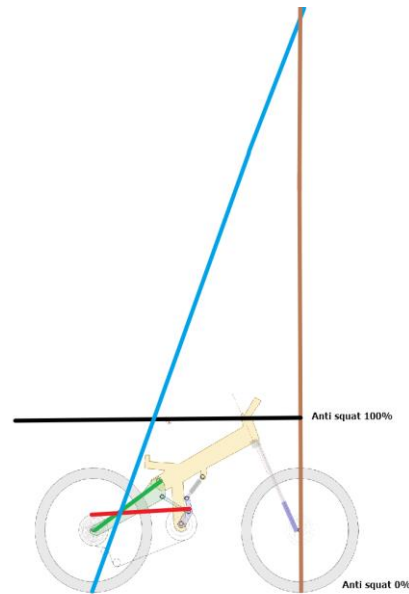


Fig. 8.2 Cálculo del anti squat (Fuente: Propia)

Como se puede ver en la figura 8.2, el valor del anti squat es bastante alto. Analizando las intersecciones de las líneas trazadas, la razón de un valor anti squat alto es bastante obvio. Como se puede observar el sistema tiene un punto de pivote principal muy alto, esto hace que el punto de intersección entre la línea verde y línea roja se queda muy cerca del eje trasero. Por este motivo, cuando traza la línea azul, la intersección de la línea azul y la línea morada se queda en un punto muy alto.

Como propuesta de mejora para mejorar la efectividad de pedaleo de este sistema, se propone diseñar una transmisión de cadena que pasa por el punto de pivote principal. Como se puede observar en la figura 8.3, con la nueva configuración de transmisión de tres puntos, el valor del anti squat se queda cerca del 200%, con lo cual la efectividad de pedaleo ya se queda más cerca a la efectividad de pedaleo de las bicicletas de montaña de alta gama.

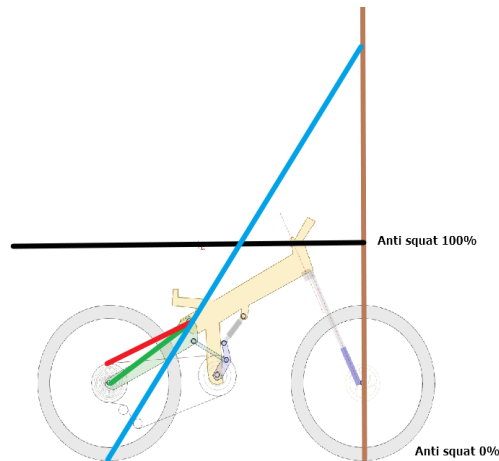
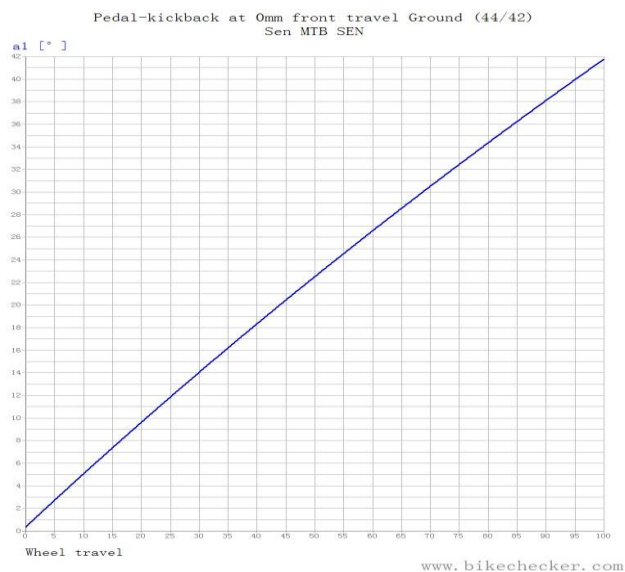


Fig. 8.3 Cálculo del anti squat con la nueva configuración de transmisión (Fuente: Propia)

8.2.4. Retroceso del pedaleo

Como se puede ver en la gráfica 8.4. El Pedal-kickback de esta bicicleta también es bastante elevado, 40° de retroceso del pedaleo enfrente a los 20° de retroceso de las bicicletas comerciales. Pero teniendo en cuenta de que el parámetro de pedal-Kickback va directamente relacionado con la eficiencia de pedaleo. Como se ha comentado en el capítulo anterior, la eficiencia de esta bicicleta se puede mejorar usando una transmisión para pasar por el punto de pivote principal. Por lo tanto en cuanto implemente la nueva transmisión, el valor de Pedal KickBack también baja a un nivel bastante bueno obteniendo así una buena eficiencia de pedaleo.



Gráfica. 8.4 Grafica del parámetro Pedal-Kickback (Fuente: Propia)

9. Proyecto de industrialización

En esta parte se explica los problemas de la industrialización del prototipo diseñado en este proyecto. Teniendo en cuenta que el diseño final requiere un estudio mucho más detallado para reducir coste de fabricación e impactos ambientales en aspectos como elementos comerciales, técnicas de fabricación, mejoras en el comportamiento cinemático, medidas de seguridad, etc. Por lo tanto, la base de este proyecto de industrialización solo se centra a explicar en groso modo temas relacionados con la industrialización, el coste de fabricación de la bicicleta prototipo, el estudio de viabilidad bajo unas hipótesis y la planificación temporal del proyecto.

9.1. Consideraciones iniciales para la industrialización

Como hipótesis inicial de este estudio, se considera que el prototipo que quiere comercializa cumple toda la legislación vigente. Este punto es muy importante, porque va dirigido al bienestar y seguridad tanto del comprador como para futuros conflictos que puedan sufrir en la bicicleta desarrollada en este proyecto. A continuación se plantean las legislaciones y normativas que están directamente relacionados con la homologación de la bicicleta. De esta forma, la persona que quiere comercializa esta bicicleta podrá tenerlo en cuenta y tomar medidas al respecto.

- El Real Decreto 82/1999, de 22 de enero, donde se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de las bicicletas y sus partes y piezas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
- Real Decreto 339/2014, de 9 de mayo, se establece los requisitos para la comercialización y puesta en servicio de las bicicletas y otros ciclos y de sus partes y piezas.
- Real Decreto 339/2014, de 9 de mayo, se establece los requisitos para la comercialización y puesta en servicio de las bicicletas y otros ciclos y de sus partes y piezas.

9.2. Fabricación y ensayo de la bicicleta

Una vez que la bicicleta quede homologada y validada por autoridades competentes y organismos responsables. Se procede a la comercialización e industrialización de la bicicleta.

Para empezar, debido a que la bicicleta que quiere comercializar es un producto nuevo, no se recomienda una fabricación continua de grandes lotes. Para minimizar el riesgo de inversión, la fabricación será bajo demanda. Una vez recibido el pedido, la persona que quiere introducir esta bicicleta al mercado puede realizar un pedido de fabricación a una empresa o taller de fabricación sin tener que realizar una inversión en maquinarias, personales y naves industriales. En resumen, la persona que quiere industrializar este producto puede subcontratar a diferentes empresas para realizar tareas como mecanizado, soldadura, ensamblaje, embalaje, etc.

Después de su ensamblaje, debido a que es un producto fabricado por terceros, es importante que la bicicleta fabricada somete a las siguientes pruebas:

- Inspección visual del conjunto ensamblado:
Se realizara una verificación visual completa de la soldadura, todos los elementos fabricados con la máquina, todas las uniones atornilladas y los elementos comerciales.
- Ensayo funcional de la bicicleta:
El ensayo funcional consiste básicamente en comprobar que la bicicleta fabricada tenga el comportamiento esperado en las diferentes condiciones de funcionamiento. Así como para comprobar el ajuste de la horquilla y amortiguador.
- Ensayo de frenado:
Teniendo en cuenta de que sistema de frenado es una medida de seguridad muy importante para la seguridad del ciclista, este punto debe ser uno de los más importantes para la validación de la bicicleta. Para este ensayo, el fabricante de la bicicleta debe seguir el procedimiento establecido en las normativas mencionadas en el parágrafo anterior.

9.3. Presupuesto de fabricación

Debido a que la bicicleta del presente proyecto requiere ser estudiada con más profundidad en temas relacionados con su diseño, legislación, fabricación, etc. En esta parte solo se centra a estudiar el coste de ejecución material y el coste de ejecución por contrata de una unidad de la bicicleta prototipo. Los estudios de viabilidad económica y planificación del proyecto serán realizados bajo ciertas hipótesis y estimaciones.

El coste de materiales para la elaboración de la bicicleta aparece listado en la tabla 9.1, sumando un total de 1450 € por bicicleta.

Coste de materiales			
Concepto	Cantidad	Precio(€)	Total (€)
Maneta de freno	2	20	40
Disco de freno	2	15	30
Palanca de cambio	1	60	60
Manillar	1	100	100
Cuadro	1	150	150
Soporte de pedalier	1	80	80
Bieleta	1	80	80
Basculante	1	100	100
Tija de sillín	1	30	30
Sillín	1	50	50
Potencia	1	20	20
Ruedas	2	150	300
Dirección	1	20	20
Cassete	1	30	30
Cadena	1	20	20
Platos y bielas	1	40	40
Eje pedalier y rodamientos	1	30	30
Horquilla de suspensión	1	100	100
Amortiguador	1	140	140
Ejes y tornillerías	1	30	30
Total			1450

Tabla. 9.1 Coste de las diferentes partes de la bicicleta (Fuente: Propia)

El coste asociado con la mano de obra para realizar el ensamblaje, ajuste y pruebas finales de la bicicleta aparece listado en la tabla 9.2, sumando un total de 300 € por bicicleta.

Coste de la mano de obra			
Concepto	Horas	Precio(€)	Total (€)
Horas de ensamblaje	8	30	240
Horas de prueba	2	30	60
Total			300

Tabla. 9.2 Coste de la mano de obra (Fuente: Propia)

9.3.1. Presupuesto de ejecución material

Finalmente, sumando el coste de materiales y el coste de la mano de obra, se obtiene el presupuesto de ejecución material por cada unidad de bicicleta. En este caso, la suma de estos conceptos asciende a un total de 1750 €.

PEM(Presupuesto de Ejecución Material)	
Concepto	Precio(€)
Costes de materiales	1450
Costes de mano de obra	300
Total	1750

Tabla. 9.3 Presupuesto de ejecución material de la bicicleta (Fuente: Propia)

9.3.2. Presupuesto de ejecución por contrata

Teniendo en cuenta de que la opción más viable para la fabricación del prototipo es la de subcontratación a personas cualificadas, se procede a encargar el pedido a un contratista. Para el cálculo del presupuesto de ejecución por contrata, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El pedido que se encarga a un contratista no se considera como un pedido de una empresa. Por lo tanto, los gastos generales asociados al pedido serán cero.
- El beneficio industrial del contratista será un 6%
- El IVA que se ha de pagar por la contratación será un 21%

PEC(Presupuesto de Ejecución por contrata)	
Concepto	Total(€)
Presupuesto de ejecución material	1750
6% Beneficio Industrial	105
Total presupuesto de contrata	1855
21% IVA	389.55
TOTAL	2244.55

Tabla. 9.4 Presupuesto de ejecución por contrata de la bicicleta (Fuente: Propia)

Sumando los conceptos establecidos en la tabla 9.4, en el caso de tener que fabricar una bicicleta prototipo desarrollado en este proyecto, el presupuesto de ejecución por contrata asciende a 2244.55€ .

9.4. Estudio de viabilidad económica

En este apartado se explica la viabilidad económica del proyecto bajo unas estimaciones de ventas durante los 5 primeros años de la comercialización de la bicicleta. Para poder estudiar la viabilidad del proyecto, a continuación, se procede a evaluar los diferentes costes e ingresos derivados de la industrialización de la bicicleta. Una vez obtenidos estos valores, se procede a estudiar la factibilidad económica mediante el VAN (valor actualizado neto) y el TIR (Tasa interna de retorno).

9.4.1. Costes derivados de la industrialización

Los costes derivados de la industrialización de la bicicleta básicamente son: coste de desarrollo, coste de creación de una empresa, costes fijos del mantenimiento de la empresa y coste de fabricación de las bicicletas.

- Coste de desarrollo

Es el coste derivado de la ingeniería que se ha hecho para diseñar una bicicleta. Puesto que es un coste que solo se contabiliza una vez, se considera que el coste de desarrollo es una inversión inicial necesaria para la industrialización. Por otro lado, se considera que los costes relacionados con los programas comerciales que han utilizado para desarrollar la bicicleta son costes que forman parte para la creación de una empresa.

Coste de ingeniería			
Fases del desarrollo	Horas	Precio /hora (€)	Total (€)
Estudios previos	40	30	1200
Análisis de sistemas de suspensión	60	30	1800
Dimensionamiento y modelado	200	30	6000
Estudio cinemático	40	30	1200
Optimización	40	30	1200
Plan de negocio	40	30	1200
Documentación	80	30	2400
		TOTAL	15000

Tabla. 9.5 Coste de ingeniería para desarrollar una bicicleta (Fuente: Propia)

- Coste de creación de una empresa

Teniendo en cuenta que el proyecto de industrialización implica la comercialización de la bicicleta. Con la finalidad de cumplir las legislaciones vigentes relacionadas con una actividad comercial, es necesario de crear una empresa donde pueda justificar los ingresos y gastos, así mismo también para pagar los impuestos correspondientes. Comparando las

diferentes opciones para la constitución de una empresa, se considera que la opción más apropiada para iniciar esta primera etapa de industrialización es la creación de una empresa tipo autónomo. De esta manera, no existe un capital mínimo legal como las sociedades limitadas y autónomas, no precisa proceso previo de constitución y no tiene que pagar los impuestos de sociedad.

A continuación, se listan en la tabla 9.6. Los conceptos de gastos necesarios para la creación de una empresa.

Coste de creación de una empresa	
Concepto	Coste(€)
Workstation	5000
Licencias de softwares y ofimáticas	12000
Impresora	250
Constitución empresa	3500
Gestoría	1000
Materiales varios de oficina	300
Fianza de una oficina	3000
Muebles	2000
Teléfono	300
Coste de ingeniería	15000
TOTAL	42350

Tabla. 9.6 Coste de creación de una empresa. (Fuente: Propia)

- Costes fijos anuales

Después de la creación de una empresa, para mantenerla activa, cada año también tiene siempre unos gastos fijos que están independiente de la venta o ingreso de la empresa. Como por ejemplo, el alquiler de una oficina, los salarios, etc. Puesto que es una empresa pequeña, se estima que los gastos fijos son los que se muestran en la tabla 9.7.

Coste fijo anual	
Concepto	Coste (€)
Mantenimiento de licencias	2000
Alquiler de la oficina	9600
Materiales ofimáticas	500
Gastos de electricidad y agua	1000
Internet y telefono	500
Salario del ingeniero	27000
Servicios varios subcontratados	1000
TOTAL	41600

Tabla. 9.7 Costes fijos de la empresa. (Fuente: Propia)

Teniendo en cuenta el incremento IPC de cada año, estos gastos fijos también incrementan proporcionalmente al incremento del IPC. En este caso, el porcentaje de incremento IPC que se ha tomado como referencia para los siguientes cinco es del 3% anual.

Coste fijo anual						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Coste fijo		-41600	-42848	-44133.44	-45457.4432	-46821.1665

Tabla. 9.8 Coste fijo de la empresa durante 5 años. (Fuente: Propia)

- Costes variables

El coste variable derivado de la industrialización básicamente es debido a la fabricación de las bicicletas. Teniendo en cuenta la estimación de ventas y el precio de ejecución por contrata que incrementa también cada año debido al incremento del IPC, el coste variable debido a la fabricación durante 5 años se queda listado como la tabla 9.9.

Coste variable anual						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cantidad vendida		50	100	150	200	250
Coste variable		-115594.325	-231188.65	-346782.975	-462377.3	-577971.625

Tabla. 9.9 Coste variable de la empresa durante 5 años. (Fuente: Propia)

9.4.2. Ingresos derivados de la industrialización

En este caso, considerando que los ingresos de la empresa únicamente son por la venta de las bicicletas. Teniendo en cuenta que el PEC de una bicicleta asciende a 2244.55€, se establece el precio de venta al público a 2650 € sin IVA incluido. Por lo tanto, el margen de beneficio industrial se queda a 15%.

Teniendo en cuenta que es una marca nueva de bicicleta, se estiman que las ventas de la bicicleta durante los 5 primeros años son:

- El primer año se supone que hay unas ventas de 50 unidades
- Después del primer año, se estima que la venta de la bicicleta se incrementa 50 unidades cada año.

	Ingreso anual					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cantidad vendida		50	100	150	200	250
Ingreso (€)		132500	265000	397500	530000	662500

Tabla. 9.10 Estimación de ventas de la bicicleta (Fuente: Propia)

9.4.3. Factibilidad económica

Para el estudio de la factibilidad económica del proyecto, se debe calcular el valor actualizado neto (VAN) de los 5 años, la tasa interna de retorno y el tiempo de payback.

A continuación se procede a calcular estos parámetros. Para eso se especifica los parámetros relacionados con el cálculo:

- Se considera que la tasa de interés es del 10%
- Se considera que el inversor dispone de la capital necesaria para realizar la inversión inicial.

VAN						
Año	0	1	2	3	4	5
Ingreso		132500	265000	397500	530000	662500
Inversión	42350					
Coste fijo		-41600	-42848	-44133.44	-45457.4432	-46821.1665
Coste variable		-115594.325	-231188.65	-346782.975	-462377.3	-577971.625
Total pagos	0	-157194.325	-274036.65	-390916.415	-507834.743	-624792.7915
Movimientos de fondos	-42350	-24694.325	-9036.65	6583.585	22165.2568	37707.2085
Movimientos de fondos acumulados	-42350	-67044.325	-76080.975	-69497.39	-47332.1332	-9624.924696
Valor actualizado neto(VAN)	-42350	-22449.3864	-7468.30579	4946.34485	15139.1686	23413.20979

Tabla. 9.11 Flujo de caja de los 5 años (Fuente: Propia)

Basándose de los movimientos de fondos de la tabla 9.11, se obtiene una tasa interna de retorno (TIR) del 24% que está por encima del 10% de tasa de interés de cada año, un periodo payback de 3 años y un valor actualizado neto (VAN) de 23413 € después de los 5 años.

Como conclusión del estudio de viabilidad del proyecto de industrialización, si se consigue alcanzar las estimaciones de venta de cada año, la inversión para la industrialización de la bicicleta diseñada resulta muy viable y muy rentable.

9.5. Planificación del proyecto

A nivel de gestión de recursos y tiempos, la documentación de la planificación es probablemente el documento más importante. Una planificación bien hecha permite optimizar el tiempo y recursos necesarios para un proyecto.

En este caso, considerando que el proyecto de industrialización empezó con el desarrollo del diseño de la bicicleta del presente proyecto, se puede dividir en diferentes fases:

- **Análisis:** Es el análisis preliminar que se ha hecho para estudiar las diferentes bicicletas ya existentes hoy en día en el mercado de las bicicletas.
- **Estudio del sistemas de suspensión:** Es el estudio que se ha hecho para analizar los sistemas de suspensión trasera ya existentes
- **Dimensionamiento:** Definir los parámetros geométricos de la bicicleta
- **Diseño 3D:** Diseñar y modelar la bicicleta
- **Estudio cinemático:** Analizar el comportamiento de la bicicleta diseñada
- **Optimización de diseño:** Mediante técnicas de análisis de elementos finitos, mejorar el diseño en aspectos como peso, rigidez, etc.
- **Documentación :** Documentar el diseño desarrollado y crear un plan de industrialización detallada
- **Creación de una empresa :** Crear una empresa para comercializar la bicicleta diseñada
- **Búsqueda de contratistas:** Buscar otras empresas para que se encarguen de fabricar y ensamblar la bicicleta desarrollada a partir de la documentación que se le va a entregar.
- **Lanzamiento del pedido:** Formalizar el pedido al contratista
- **Aprovisionamiento :** Comprar los materiales necesarios para el ensamblaje
- **Mecanizado:** Subcontratar piezas de mecanizado a otras empresas
- **Ensamblaje:** Subcontratar a otras empresas para que haga el ensamblaje final de la bicicleta.
- **Pruebas y ensayos:** Realizar pruebas y ensayos para validar la bicicleta fabricada
- **Comercialización:** Comercializar la bicicleta fabricada

A continuación, se muestra en la tabla 9.12. Las diferentes fases del proyecto ordenadas por semanas

Fases	Agosto 2016					Septiembre 2016					Octubre 2016					Noviembre 2016					Diciembre 2016				
	s31	s32	s33	s34	s35	s36	s37	s38	s39	s40	s41	s42	s43	s44	s45	s46	s47	s48	s49	s50	s51	s52			
Análisis																									
Estudio del sistema de suspensión																									
Dimensionamiento																									
Diseño 3D																									
Estudio cinemático																									
Optimización de diseño																									
Documentación																									
Creación de una empresa																									
Búsqueda de contratistas																									
Lanzamiento del pedido																									
Aprovisionamiento																									
Mecanizado																									
Ensamblaje																									
Pruebas y ensayos																									
Comercialización																									

Tabla 9.12 Planificación del proyecto

10. Estudio del impacto ambiental

El propósito de este capítulo es para analizar el impacto ambiental asociado a la realización de este proyecto en sus diferentes etapas. Para eso establece una serie de consideraciones previas a la identificación de impactos ambientales que causa el proyecto.

- No se considera como impacto ambiental los consumos debidos durante la fase de diseño y redacción de memoria.
- El presente estudio de impacto ambiental solo será válido para la fabricación del primer prototipo. Para el futuro plan de industrialización, los medios y recursos que aplicaran para fabricar el prototipo serán diferentes, por tanto el impacto ambiental que puede haber también será diferente
- Se hace también un breve estudio del impacto ambiental durante su utilización y en su final de la vida útil.

Para este proyecto, uno de los criterios de diseño que ha ido apareciendo en las diferentes fases del proyecto es el de aplicar técnicas de fabricación menos contaminantes. Por ejemplo, se ha establecido criterios ambientales entre los criterios de diseño como la aplicación de uniones atornilladas en vez de soldadura. Por eso, todo el diseño de la bicicleta está basado en que la intervención de maquinarias de mecanizado y soldaduras sea lo mínima posible.

Para la fabricación de este prototipo, se considera que hay los siguientes impactos ambientales

- Soldadura por resistencia eléctrica para soldar la pipa de dirección con el cuadro delantero
- Mecanizado de las chapas de aluminio con máquinas de corte convencionales
- Conformado de las chapas de aluminio con plegadoras
- Taladrado de agujero sobre chapas con taladradoras manuales
- Utilización de productos químicos como pegamentos, grasas, lubricantes, etc.

En cuanto a su fase de utilización, se considera que genera efectos positivos para el medio ambiente. El uso de la bicicleta se considera como un medio de transporte sano, ecológico

y sostenible, no emite gases ni consume energías producidas otros materiales contaminantes.

En su fase final de la vida útil, debido a que la gran parte está fabricada del aluminio, se puede reciclar el 100% de los componentes fabricados con el fin de minimizar los posibles impactos ambientales que puede haber en esta última fase.

Conclusiones

Este proyecto fin de carrera busca diseñar un primer prototipo donde se estudia cada componente y se propone una solución para validar tanto su rigidez estructural y como su comportamiento cinemático del conjunto.

A lo largo de este proyecto se han ido alcanzando los objetivos propuestos al principio, con lo cual se puede decir que el proyecto ha alcanzado un cierto grado de éxito.

Tras la obtención del modelo completo de la bicicleta de montaña diseñada, se han realizado análisis de distintos aspectos dinámicos y cinemáticos para ver la rigidez estructural y el comportamiento cinemático de la bicicleta y se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El modelado 3D de la nueva bicicleta tiene un nivel de detalle suficiente para realizar análisis de rigidez y comportamientos cinemáticos.
- El sistema de suspensión trasera es bastante innovador, se puede decir que todavía no existen bicicletas con este sistema de suspensión. Pero también cabe destacar que con la configuración actual el comportamiento cinemático no ha alcanzado el grado de confort y eficacia que esperaba.
- El análisis de elementos finitos ha dejado claro que con la nueva geometría modificada y el material 5052-O, las piezas ya tienen un grado de optimización bastante buena.
- El proyecto de industrialización de la bicicleta es viable bajo unas estimaciones de ventas que se ha hecho.

Como desarrollos futuros, se proponen los siguientes desarrollos para mejorar y ampliar dicho proyecto.

- Analizar las propuestas de mejora del capítulo de análisis cinemático, realizar un estudio de mejora para que el comportamiento de la bicicleta sea óptima.
- Realizar un estudio al detalle de la fabricación de la bicicleta proponiendo técnicas de fabricación y mejoras en el diseño para abaratar el coste de fabricación antes de poder llevarlo a producción.
- Realizar ensayos experimentales para comparar y validar los resultados obtenidos en la simulación.

Agradecimientos

En primer lugar quiero dar las gracias a profesor Carlos Sierra por darme la oportunidad de realizar este proyecto. Así también a la compañía y el apoyo recibido a todas las personas que me acompañan en el largo camino que me lleva a conseguir mis objetivos.

A mis padres y mi hermana, por sus sinceros apoyos y por haber confiado siempre en mí permitiéndome desarrollar libremente en lo que he querido y animándome a afrontar nuevos desafíos.

A mis amigos por los consejos y ayudas que me ha dado para realizar este proyecto fin de carrera.

Gracias

Bibliografía

1. HISTORIA DEL MOUNTAIN BIKE [Internet]. [citado 1 de enero de 2016]. Recuperado a partir de: http://www.ce3rkw.cl/historia_del_mountain_bike.htm
2. Schwinn DX Excelsior [Internet]. [citado 5 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.nostalgic.net/1941-schwinn-dx-excelsior-special-model>
3. Charlie Kelly's Mountain Bike Hubsite [Internet]. [citado 8 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://sonic.net/~ckelly/Seekay/mtbwelcome.htm>
4. From Repack to Rwanda: The Origins, Evolution, and Global Reach of the Mountain Bike [Internet]. 2013 [citado 22 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.flysfo.com/museum/exhibitions/3060/detail?num=7>
5. Gravity FSX 1.0 Full Suspension Mountain Bikes [Internet]. [citado 10 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: http://www.bikesdirect.com/products/gravity/fsx_1.htm
6. Fernández Estévez D. Modelado y simulación dinámica de bicicletas de montaña. 2012;
7. Kross. Levl R9 [Internet]. 2016 [citado 18 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.kross.pl/es/2014/mtb-xc-275quot/level-r9>
8. LA BICI IDEAL DE ENDURO [Internet]. [citado 1 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.bikesworldrevista.es/la-bici-ideal-de-enduro/>
9. Session 88 | Trek Bikes [Internet]. [citado 20 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: http://www.trekbikes.com/es/es_ES/bicicletas/bicicletas-de-monta%C3%B1a/bicicletas-de-descenso/session/session-88/p/1176600-2016
10. Adria Picar Ametller. DISSENY D'UNA BICICLETA DE MUNTANYA AMB SUSPENSIO INTEGRAL. 2004;2004.
11. Cannondale's DYAD RT2 Pull-shocks [Internet]. 2013 [citado 25 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.pinkbike.com/news/To-The-Point-Cannondales-Dyad-Pull-shocks-2013.html>
12. Diferentes tipos de horquillas [Internet]. 2011 [citado 15 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.bikelocos.com/diferentes-tipos-de-horquillas/>
13. Schwinn. Schwinn Protocol 1.0 Men's Dual-Suspension Mountain Bicycles [Internet]. [citado 23 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <https://www.amazon.com/Schwinn-Protocol-Dual-Suspension-Mountain-26-Inch/dp/B0021HGGOE>
14. Santa Cruz. Santa Cruz Superlight [Internet]. [citado 9 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.santacruz bicycles.com/en-US/superlight>
15. Rocky Mountain Element. Rocky Mountain Bicycles [Internet]. 2016 [citado 23 de

- agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.bikes.com/en/bikes/element/2016>
16. Leitner H. Rear suspension for bicycles [Internet]. [citado 23 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_suspension
 17. El Pivote Virtual [Internet]. [citado 27 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.blogsasociados.com/mountain-bike/el-pivote-virtual-vpp>
 18. Santa Cruz Blur [Internet]. 2008 [citado 21 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://www.santacruz bicycles.com/en-US/bike/blur/lt-2>
 19. Trek Bikes. Fuel EX - Trek Bikes [Internet]. [citado 23 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: http://www.trek bikes.com/es/es_ES/bicicletas/bicicletas-de-monta%C3%B1a/bicicletas-de-trail/fuel-ex/c/B332
 20. Trek Bikes. Slash 8 - Trek Bikes [Internet]. [citado 23 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: http://www.trek bikes.com/us/en_US/slash-2016/slash-8/p/1192600-2016
 21. Kona Supreme Operator [Internet]. [citado 24 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: http://www.konaworld.com/supreme_operator.cfm
 22. Two 15 - Mountain Bikes [Internet]. [citado 23 de agosto de 2016]. Recuperado a partir de: <http://mountain-bikes.gearsuite.com/compare/3993-4269/2012-Cube-Two-15-vs-2013-Cube-Two15-SL>
 23. SolidWorks - Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. [citado 1 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <https://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
 24. Giant. Giant Reign 27.5 Specification. 2016.
 25. ASM Aerospace Sepecification Metals. 7075-O Material Data Sheet [Internet]. [citado 5 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075O>
 26. ASM Aerospace Specification Metals. 5052-O Material Data Sheet [Internet]. [citado 10 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA5052O>
 27. Short travel full suspension frames [Internet]. 2012 [citado 15 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://singletrackworld.com/forum/topic/short-travel-full-suspension-frames-available-as-frame-only>
 28. ANSYS - Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. [citado 1 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <https://es.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
 29. Glosario - Linkage Design [Internet]. [citado 10 de septiembre de 2016]. Recuperado a partir de: <http://linkagedesign.blogspot.com.es/p/glosario.html#uds-search-results>
 30. Anti-Squat I - Linkage Design [Internet]. [citado 18 de septiembre de 2016].

Recuperado a partir de: <http://linkagedesign.blogspot.com.es/2009/04/anti-squat.html>

}

Planos